



**SKRIPSI – 141501**

**Analisis Pengaruh Penggunaan Biodiesel Biji Kemiri (*Aleurites moluccana*) terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NOx pada Mesin Diesel Satu Silinder**

**Vianto Ilham Pujinaufal**  
**0421140000056**

**Dosen Pembimbing:**

- 1. Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.**
- 2. Ir. Aguk Zuhdi M.Fathallah., M.Eng., Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



**THESIS – 141501**

**Effect of Model from Candlenut Seed (*Aleurites moluccana*) to NO<sub>x</sub> Emission and Combustion Process and NO<sub>x</sub> Emission on Single Cylinder Diesel Engine**

**Vianto Ilham Pujinaufal**  
**0421140000056**

**Academic Supervisor:**

- 1. Benny Cahyono ST., MT., PhD**
- 2. Ir. Aguk Zuhdi M.Fathallah., M.Eng., Ph.D**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

# LEMBAR PENGESAHAN

**Analisis Pengaruh Penggunaan Biodiesel Biji Kemiri (*Aleurites moluccana*)  
terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NOx pada Mesin Diesel Satu  
Silinder**

## SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) Program Studi S-1  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

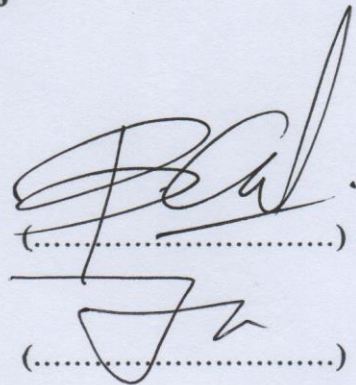
Oleh:

**Vianto Ilham Pujinaufal**  
**NRP. 04211440000056**

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi

Beny Cahyono., ST., MT., Ph.D  
NIP: 1971 0110 1997 02 1001

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., Ph.D  
NIP: 1956 0519 1986 10 1001



Surabaya  
Juli, 2018

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



## LEMBAR PENGESAHAN

**Analisis Pengaruh Penggunaan Biodiesel Biji Kemiri (*Aleurites moluccana*)  
terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NOx pada Mesin Diesel Satu  
Silinder**

### Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP) Program Studi S-1  
Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Vianto Ilham Pujinaufal**  
**NRP. 0421144000056**

Disetujui oleh

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



Surabaya  
Juli, 2018

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



# **Analisis Pengaruh Penggunaan Biodiesel Biji Kemiri (*Aleurites moluccana*) terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NO<sub>x</sub> pada Mesin Diesel Satu Silinder**

Nama Mahasiswa : Vianto Ilham Pujinaufal  
NRP : 04211440000056  
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing 1 : Benny Cahyono., ST., MT., Ph.D.  
Dosen Pembimbing 2 : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., Ph.D.

## **Abstrak**

Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui namun masih menjadi pilihan bahan bakar utama. Namun, saat ini mulai disadari bahwa ketersediaan bahan bakar fosil semakin menipis yang selanjutnya mendorong berbagai penelitian mengenai bahan bakar terbarukan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Salah satu bahan bakar terbarukan yang sedang dikembangkan adalah biodiesel. Penggunaan minyak nabati dan hewani menjadi pilihan utama dalam menjaga keberlangsungan bahan bakar terbarukan. Minyak biji buah kemiri adalah salah satu alternatif dalam pembuatan biodiesel berbahan lemak dari minyak nabati. Minyak biji kemiri dapat menjadi pilihan yang baik untuk pembuatan biodiesel karena memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah kemudahan untuk memperoleh biji kemiri, kadar getah yang rendah, kadar Free Fatty Acid (FFA) rendah dan kemudahan dalam pengolahannya menjadi biodiesel. Penelitian ini dilakukan dengan menguji kadar emisi NO<sub>x</sub> dan proses pembakaran yang dihasilkan dalam penggunaan bahan bakar B20 kemiri dibandingkan dengan bahan bakar HSD pada mesin diesel satu silinder yaitu YANMAR TF85-MH. Hasil penelitian yang didapat ialah kadar emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan pada penggunaan bahan bakar B20 kemiri dan hasil proses pembakaran yang dihasilkan. Hasil perbandingan emisi NO<sub>x</sub> antara biodiesel kemiri dan HSD menunjukkan kenaikan yaitu 0,76 gr/kWh untuk biodiesel kemiri dan 0,51 gr/kWh untuk bahan bakar HSD. Pada hasil uji proses pembakaran menunjukkan bahwa bahan bakar kemiri memiliki hasil pembakaran yang lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar HSD salah satunya dibuktikan dengan nilai *knocking* dari biodiesel kemiri yang lebih rendah dibandingkan HSD yaitu 5,69 bar untuk biodiesel kemiri dan 6,19 bar untuk bahan bakar HSD. Setelah dilakukannya penelitian ini diharapkan bahwa bahan bakar biodiesel kemiri dapat menjadi salah satu energi terbarukan yang dapat menjadi solusi atas krisis energi yang sedang terjadi

**Keywords :** Biodiesel, Biji Buah Kemiri, Emisi, Mesin Diesel, Pembakaran

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## **Effect of Model from Candlenut Seed (*Aleurites moluccana*) to NO<sub>x</sub> Emission and Combustion Process on Single Cylinder Diesel Engine**

Student Name : Vianto Ilham Pujinaufal  
NRP : 04211440000056  
Department : Marine Engineering  
Academic Supervisor : Benny Cahyono., ST., MT., Ph.D.  
Academic Supervisor : Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., Ph.D.

### ***Abstract***

Fossil fuels are non-renewable fuels but remain the main fuel choice. However, it is now becoming increasingly recognized that the availability of fossil fuels is running low and encouraging research on renewable fuels in lieu of fossil fuels. One of the renewable fuels under development is biodiesel. The use of vegetable and animal oils is the primary choice in maintaining the sustainability of renewable fuels. Candlenut oil is one of the alternatives in the manufacture of biodiesel made from vegetable oils. Candlenut seed oil can be a good choice for making biodiesel because it has several advantages such as easiness to obtain candlenut seeds, low sap content, low fatty acid content (FFA) and ease of processing into biodiesel. This study was conducted by testing the levels of NO<sub>x</sub> emissions and combustion processes generated in the use of fuel B20 candlenut compared with HSD fuel on a single cylinder diesel engine that is YANMAR TF85-MH. The results obtained are NO<sub>x</sub> emission levels generated on the use of fuel B20 candlenut and the resulting combustion process. The result of NO<sub>x</sub> emission comparison between candlenut and HSD biodiesel showed an increase, 0,76 gr/kWh for candlenut biodiesel and 0,51 gr/kWh for HSD fuel. On combustion test result showed that candlenut fuel has better combustion result compared to HSD fuel one of them is proved by knocking value of candlenut biodiesel is 5,69 bar compared to HSD which has 6,19 bar knocking value. This study is expected to provide information that the fuel biodiesel candlenut can be one of renewable energy that can be a solution to the ongoing energy crisis

**Keywords :** Biodiesel, Candlenut, Emission, Diesel Engine, Combustion

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah S.W.T berkat limpahan rahmat, hidayah dan bimbingan-Nya sehingga skripsi dengan judul **“Analisa Pengaruh Penggunaan Biodiesel Kemiri (*Aleurites moluccana*) terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NOx pada Mesin Diesel Satu Silinder ”** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan doa berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Beny Cahyono., ST., MT., PhD dan Bapak Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., PhD selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, semangat, ilmu, serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Eng. Badrus Zaman, ST., MT selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
3. Bapak Raja Oloan Saut Gurning, ST., MSc., PhD selaku dosen wali yang telah memberikan semangat, serta bersedia untuk mendengarkan keluh kesah penulis dalam menjalani penelitian tugas akhir maupun selama jalannya masa perkuliahan.
4. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium Marine Power Plant yang telah membantu penulis dalam menjalani proses eksperimen penelitian tugas akhir ini.
5. Bapak Tedi Pujiantoro, Spd, Ibu Yulianti, Spd dan Vira Indah S.ST selaku bapak, ibu dan kakak dari penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan dukungan moral maupun material kepada penulis.
6. Saudara Gusma Hamdana Putra S.T. selaku kakak tingkat yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi perihal berjalannya analisa penelitian tugas akhir ini.
7. Anggota Laboratorium Marine Power Plant FTK-ITS yang telah membantu penulis dalam berjalannya penelitian tugas akhir ini.
8. Teman-teman seperjuangan MERCUSUAR 14 yang selalu mendukung dan menjadi semangat penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
9. Kiagus Salvin Oemar dan Dolimora Mortadho selaku teman seper-biji kemiri-an yang sudah saling bahu membahu dalam menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman-teman kost LHOKTUAN yang selalu jadi teman penulis berbincang dan melepas penat.
11. Teman-teman *SAFARY* yang telah menjadi teman seperjuangan dari kota Bogor yang bersedia meluangkan waktunya untuk bertukar pikiran dan menjadi teman berbincang disaat penulis merasa *Down*.
12. Seluruh teman-teman dan sahabat penulis yang menjadi bagian dari kehidupan penulis selama berproses dan mengembangkan diri atau hanya sekedar bercerita dan bertukar pikiran di masa kuliah yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu namanya.

Penulis menyadari pula bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

## Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xiii
Daftar Isi.....	xv
Daftar Gambar.....	xvii
Daftar Tabel.....	xix
Daftar Gambar Lampiran .....	xxi
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
BAB II .....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III.....	11
METODOLOGI PENELITIAN .....	11
BAB IV .....	19
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
IV. 1. Analisis Emisi NOx .....	19
IV. 2. Proses Pembakaran.....	21
IV. 2. 1. Analisis <i>Maximum Pressure</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 25% .....	21
IV. 2. 2. Analisis <i>Maximum Pressure</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 50% .....	22
IV. 2. 3. Analisis <i>Maximum Pressure</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 75% .....	23
IV. 2. 4. Analisis <i>Maximum Pressure</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 100% .....	24
IV. 2. 5. Analisis <i>Rate of Heat release (ROHR)</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 25% .....	25
IV. 2. 6. Analisis <i>Heat Release</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 25% .....	26
IV. 2. 7. Analisis <i>Rate of Heat Release (ROHR)</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 50% .....	27
IV. 2. 8. Analisis <i>Heat Release</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 50% .....	28
IV. 2. 9. Analisis <i>Rate of Heat Release (ROHR)</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 75% .....	29
IV. 2. 10. Analisis <i>Heat Release</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 75% .....	30
IV. 2. 11. Analisis <i>Rate Heat Release (ROHR)</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 100% .....	31
IV. 2. 12. Analisis <i>Heat Release</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 100% .....	32
IV. 2. 9. Analisis <i>Knock detection</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 25% .....	33



IV. 2. 10. Analisis <i>Knock detection</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 50% .....	34
IV. 2. 11. Analisis <i>Knock detection</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 75% .....	35
IV. 2. 12. Analisis <i>Knock Detection</i> pada RPM 2200, <i>Load</i> 100% .....	36
IV.2.13. Analisis <i>Knock Detection</i> .....	37
IV. 2. 14. Analisis <i>Ignition Delay</i> pada RPM 2200 .....	38
BAB V .....	39
KESIMPULAN DAN SARAN .....	39
V.1. Kesimpulan .....	39
V.2. Saran .....	39
DAFTAR PUSTAKA.....	41
LAMPIRAN .....	43
LAMPIRAN 1 .....	43
Pembuatan Biodiesel .....	43
LAMPIRAN 2 .....	45
Combustion Process.....	45
LAMPIRAN 3 .....	61
Uji Karakteristik Biodiesel .....	61
LAMPIRAN 4 .....	63
Uji Emisi.....	63
BIODATA PENULIS.....	65

## Daftar Gambar

Gambar 3. 1. Metodologi Penelitian .....	11
Gambar 3. 2. Engine Et Up Uji Emisi NO <sub>x</sub> .....	15
Gambar 3. 3. Engine Set Up <i>Combustion Process</i> .....	16
Gambar 4. 1. Grafik Emisi NO <sub>x</sub> (PPM) .....	19
Gambar 4. 2. Grafik Emisi NO <sub>x</sub> (gr/kWh) .....	20
Gambar 4. 3. Grafik Maximum Pressure .....	21
Gambar 4. 4. Grafik Maximum Pressure .....	22
Gambar 4. 5. Grafik Maximum Pressure .....	23
Gambar 4. 6. Grafik Maximum Pressure .....	24
Gambar 4. 7. Grafik Rate of Heat Release .....	25
Gambar 4. 8. Grafik Heat Release .....	26
Gambar 4. 9. Grafik Rate of Heat Release .....	27
Gambar 4. 10. Grafik Heat Release .....	28
Gambar 4. 11. Grafik Rate of Heat Release .....	29
Gambar 4. 12. Grafik Heat Release .....	30
Gambar 4. 13. Grafik Rate of Heat Release .....	31
Gambar 4. 14. Grafik Heat Release .....	32
Gambar 4. 15. Grafik Knock Detection .....	33
Gambar 4. 16. Grafik Knock Detection .....	34
Gambar 4. 17. Grafik Knock Detection .....	35
Gambar 4. 18. Grafik Knock Detection .....	36
Gambar 4. 19. Grafik Knock Detection .....	37
Gambar 4. 20. Grafik Ignition Delay .....	38

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## Daftar Tabel

Tabel 2. 1. Standart Biodiesel .....	6
Tabel 2. 2. Karakteristik Minyak Kemiri (Pham, 2018).....	6
Tabel 2. 3. Properties Biodiesel Minyak Kemiri (Pham, 2018) .....	7
Tabel 2. 4. Standart Emisi NO <sub>x</sub> (IMO, 2018) .....	9
Tabel 3. 1. Karakteristik Biodiesel Minyak Kemiri .....	13
Tabel 3. 2. Batasan Kadar Emisi NO <sub>x</sub> (IMO, 2016) .....	17

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## Daftar Gambar Lampiran

Gambar 1. Gliserin Biodiesel .....	44
Gambar 2. Grafik Heat Release.....	45
Gambar 3. Grafik Heat Release.....	46
Gambar 4. Grafik Heat Release.....	47
Gambar 5. Grafik Heat Release.....	48
Gambar 6. Grafik Rate of Heat Release .....	49
Gambar 7. Grafik Rate of Heat Release .....	50
Gambar 8. Grafik Rate of Heat Release .....	51
Gambar 9. Grafik Rate of Heat Release .....	52
Gambar 10. Grafik Knock Detection.....	53
Gambar 11. Grafik Knock Detection.....	54
Gambar 12. Grafik Knock Detection.....	55
Gambar 13. Grafik Knock Detection.....	56
Gambar 14. Grafik Heat Release.....	57
Gambar 15. Grafik Heat Release.....	58
Gambar 16. Grafik Heat Release.....	59
Gambar 17. Grafik Heat Release.....	60

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Jumlah kendaraan bermotor yang ada di Indonesia setiap tahunnya terus bertumbuh, sampai tahun 2016 berjumlah 129,2 juta kendaraan bermotor yang terdiri dari 105,2 juta sepeda motor, 14,5 juta mobil penumpang, 7 juta mobil barang, dan 2,5 juta mobil bis (Badan Pusat Statistik, 2016). Seiring dengan bertumbuhnya penggunaan kendaraan bermotor maka meningkat juga konsumsi bahan bakar yang digunakan. Ketersediaan bahan bakar fosil saat ini semakin menipis salah satunya karena tingginya pemakaian Bahan Bakar Minyak (BBM) untuk transportasi. Di sisi lain, bahan bakar merupakan salah satu elemen yang menggerakkan industri transportasi dan industri lainnya. (Mulyana, 2017).

Cara yang digunakan untuk menanggulangi menipisnya bahan bakar fosil ialah dengan cara menemukan sumber energi terbarukan yang bukan hanya memiliki emisi rendah namun juga dapat diperbarui (*renewable*). Bahan bakar terbarukan dengan prospek yang menjajikan adalah biodiesel. Biodiesel dapat digunakan pada hampir semua mesin diesel, dengan atau tidak dicampur dengan petroleum diesel pada rasio berapapun, dengan modifikasi mesin atau tidak sama sekali. (Revellame, 2010; Mondala, 2009).

Biodiesel adalah bahan bakar yang dibuat dengan proses kimiawi dari minyak yang diproduksi oleh tanaman atau dari lemak hewan dan kandungan alkohol yang dapat digunakan pada mesin diesel, dengan atau tanpa campuran petroleum diesel. Beberapa bahan baku yang dapat dijadikan biodiesel adalah kelapa sawit, kedelai, jarak pagar, tebu, umbi porang, kapuk, dan beberapa jenis tanaman lainnya.

Pada penelitian ini dibahas mengenai emisi yang dikeluarkan oleh mesin diesel dari hasil sisa pembakaran biodiesel dengan menggunakan bahan baku biji kemiri. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Hasil data uji emisi biodiesel berbahan baku biji kemiri akan dibandingkan dengan bahan bakar HSD.

## 1.2. Perumusan Masalah

Biodiesel dengan campuran bahan baku biji kemiri memiliki karakteristik yang berbeda apabila dibandingkan dengan karakteristik yang dimiliki bahan bakar diesel HSD. Oleh karena itu perlu dilakukan perbandingan antara ke dua bahan tersebut, ada dua masalah yang akan dibahas pada penelitian ini, yaitu perbandingan kadar emisi dan proses pembakaran pada biodiesel berbahan baku biji kemiri dan bahan bakar HSD. Sehingga pada penelitian analisa emisi dan pembakaran biodiesel berbahan baku biji kemiri ini menghasilkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil proses pembakaran yang dihasilkan oleh penggunaan biodiesel biji kemiri (*Aleurites Moluccana*)?
2. Bagaimana hasil kadar emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh penggunaan biodiesel biji kemiri (*Aleurites Moluccana*)?

## 1.3. Tujuan Skripsi

Guna menjawab rumusan masalah pada penelitian ini, maka tujuan penelitian ini dilakukan adalah:

1. Untuk mengetahui hasil proses pembakaran yang dihasilkan oleh penggunaan biodiesel biji kemiri (*Aleurites Moluccana*).
2. Untuk mengetahui hasil kadar emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh penggunaan biodiesel biji kemiri (*Aleurites Moluccana*).

## 1.4. Batasan Permasalahan

1. Ruang lingkup dari analisis proses pembakaran yaitu, proses penginjeksian (*ignition delay*), tekanan maksimum (*maximum pressure*), perubahan energi panas (*heat release rate*) dan knocking. Serta pada kadar emisi yaitu kadar emisi NO<sub>x</sub>
2. Variable bahan bakar yang digunakan meliputi HSD sebagai variable bahan bakar pembanding dan biodiesel dari minyak biji kemiri (*Aleurites Moluccana*) dengan kadar 20% (B20)
3. Analisis proses pembakaran menggunakan alat sensor TMR-Instrument serta SYSMONsoft v2.0.3 sebagai data akuisisi, proses dan analisis
4. Analisis kadar emisi menggunakan alat E-com gas analyzer
5. Analisis proses pembakaran dan kadar emisi NO<sub>x</sub> dilakukan pada motor diesel Yanmar TF85MH-di yang berada di *workshop* Marine Power Plant FTK-ITS.

### **1.5. Manfaat**

Manfaat yang didapat dari penelitian ini adalah:

1. Memberi informasi mengenai proses pembakaran dan emisi yang dikeluarkan oleh sisa pembakaran biodiesel biji kemiri (*Aleurites moluccana*)
2. Memberi informasi mengenai perbandingan hasil kadar emisi NO<sub>x</sub> dan hasil proses pembakaran biodiesel biji kemiri (*Aleurites moluccana*) dengan bahan bakar HSD.

“Halaman sengaja dikosongka”

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pertumbuhan aktivitas ekonomi dan urbanisasi yang cukup tinggi baik di perkotaan dan sub-perkotaan berpotensi besar dalam peningkatan penggunaan konsumsi energi, seperti pada kebutuhan bahan bakar guna pembangkit tenaga listrik, tungku-tungku industri, dan transportasi. Pembakaran bahan bakar ini merupakan sumber-sumber pencemar utama yang dilepaskan ke udara, seperti CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, SPM (*Suspended Particular Matter*), O<sub>x</sub> dan berbagai logam berat. (Budyono, 2010).

Pada era modern terjadi peningkatan kebutuhan energi khususnya untuk mengoperasikan mesin-mesin yang sampai saat ini sudah mencapai setengah dari jumlah konsumsi bahan bakar. Kebutuhan yang sangat besar ini menyebabkan harga bahan bakar yang terus melonjak mahal yang pada saat bersamaan juga membuat perlunya ditemukan bahan bakar alternatif. Salah satu solusi bagi masalah ini adalah mengembangkan penelitian mengenai biodiesel yang digunakan untuk mesin diesel. (Ntihuga, 2010).

Penggunaan tanaman sebagai bahan bakar bagi mesin sudah diteliti semenjak lebih dari seratus tahun lalu, tetapi keberadaannya dikalahkan oleh harga bahan bakar biasa yang harganya masih murah. Perkembangan penelitian mengenai biodiesel sebagai energi alternatif sudah berkembang di penjuru dunia semenjak dua dekade silam. (Ntihuga, 2010).

Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah mengenai polusi udara dan juga sumber bahan bakar fosil yang ketersediaannya sudah menipis, dilakukan pencarian dan riset mengenai bahan bakar terbarukan yang paling bagus dan dapat digunakan oleh masyarakat. Salah satu bahan terbarukan yang sedang dikembangkan adalah biodiesel.

Biodiesel adalah bahan bakar yang dibuat dengan proses kimiawi dari minyak yang diproduksi oleh tanaman atau dari lemak hewan dan kandungan alkohol yang dapat digunakan pada mesin diesel, dengan atau tanpa campuran petroleum diesel dan dengan atau tidaknya dilakukan modifikasi pada mesin diesel.

ASTM International awalnya dikenal sebagai *American Society for Testing and Materials* mendefinisikan biodiesel sebagai campuran ester monoalkilik rantai panjang dari asam lemak yang diperoleh dari sumber daya terbarukan, untuk digunakan pada mesin diesel. Campuran dengan bahan bakar diesel ditunjukkan sebagai " Bx ", di mana " x " adalah persentase biodiesel dalam campuran. Misalnya, " B5 " menunjukkan campuran dengan biodiesel 5% dan solar 95%; Akibatnya, B100 menunjukkan biodiesel murni. (Romano, 2011).

Standar Nasional Indonesia (SNI) kualitas biodiesel dikeluarkan oleh BSN dengan nomor SNI 7182:2015 yang sudah merevisi SNI 04-7182-2006 dan SNI 7182:2012 – Biodiesel. Pada table 2.1 dapat dilihat syarat mutu yang ditentukan menurut SNI:

Tabel 2. 1. Standart Biodiesel

No	Parameter uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40 °C	kg/m <sup>3</sup>	850 – 890
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	mm <sup>2</sup> /s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka setana	min	51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100
5	Titik kabut	°C, maks	18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)		nomor 1
7	Residu karbon - dalam percontoh asli; atau - dalam 10% ampas distilasi	%-massa, maks	0,05 0,3
8	Air dan sedimen	%-volume, maks	0,05
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02
11	Belerang	mg/kg, maks	50
12	Fosfor	mg/kg, maks	4
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24

Salah satu bahan baku yang dapat dimanfaatkan menjadi biodiesel adalah biji kemiri. Berdasarkan hasil penelitian (Pham, dkk, 2018) biodiesel dari minyak biji kemiri diperoleh dengan proses esterifikasi untuk menurunkan kadar *Free fatty acid* (FFA) yang semula 7% menjadi 0,8%. Proses selanjutnya adalah transesterifikasi untuk memisahkan antara gliserol dan biodiesel minyak biji kemiri dengan menggunakan KOH sebagai katalis.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Pham, dkk, 2018) berikut adalah karakteristik dari minyak biji kemiri :

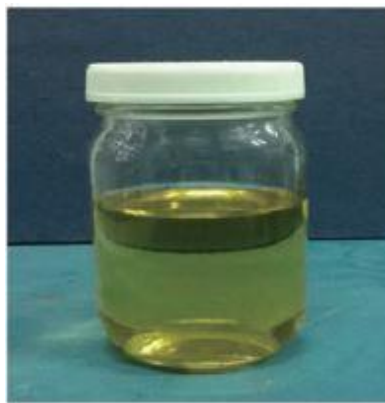
Tabel 2. 2. Karakteristik Minyak Kemiri (Pham, 2018)

Karakteristik	Satuan	Nilai
Kandungan Minyak	(wt%)	20-30
Densitas	(kg/m <sup>3</sup> )	914
Viskositas Kinematis	(mm <sup>2</sup> /s)	24,89
Kandungan FFA	(wt%)	6,9
Kandungan Air	(wt%)	0,02
Kandungan Sedimen	(wt%)	0,02
Warna	-	Kuning Terang

Pada skala nasional, kemiri memiliki produksi per tahun yang tinggi. Daerah penghasil kemiri dalam jumlah besar adalah Provinsi Sumatera Utara, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Bengkulu, Lampung, Jawa Barat, Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Bali, Sulawesi Selatan, Maluku dan Nusa Tenggara Timur, dengan total luasan mencapai 205.532 ha (Direktorat Budidaya Tanaman Tahunan 2008).



Gambar 2. 2. Biji Kemiri (Pham, 2018)



Gambar 2. 1. Minyak Kemiri (Pham, 2018)

Pham (2018), menjelaskan bahwa proses pembuatan biodiesel pada biji kemiri melewati proses yang cukup sederhana. Proses pertama adalah proses esterifikasi guna menurunkan kadar *Free fatty acids* (FFA) yang semula 7 wt% menjadi 0,8 wt% dengan menggunakan campuran methanol dan  $H_2SO_4$  sebagai katalis yang selanjutnya dipanaskan pada suhu  $65^{\circ}C$ . Pada proses kedua dilakukan proses transesterifikasi yaitu dengan menggunakan campuran asam cuka dan juga KOH sebanyak 1 wt% yang selanjutnya dipanaskan pada suhu  $40^{\circ}C$  selama kurang lebih 60 menit atau sampai terlihat gliserol.

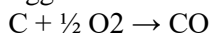
Tabel 2. 3. Properties Biodiesel Minyak Kemiri (Pham, 2018)

<i>Properties</i>	<b>Satuan</b>	<b>Biodiesel Kemiri</b>	<b>Standart</b>	<b>Metode Pengujian</b>
FAME Content	mass %	99,3	96,5	ASTM D6751-02
Density, $20^{\circ}C$	$kg/m^3$	887	850-890	ASTM D6751-03
Kinematic Viscosity, $40^{\circ}C$	$mm^2/s$	4,24	1,9-6,0	ASTM D6751-04
Water Content	mg/kg	230	<500	ASTM D6751-05
Pour Point	$^{\circ}C$	6,3	18oC	ASTM D6751-06

Berdasarkan pembahasan di atas bahwa kebutuhan atas bahan bakar dengan bahan baku yang dapat diperbarui sangat diperlukan. Selain bahan bakar yang dapat diperbarui tentu emisi atau gas buang yang dihasilkan oleh bahan bakar tersebut harus bernilai lebih kecil bila dibandingkan dengan bahan bakar yang sudah ada di pasaran.



Pada prakteknya pembakaran dalam motor tidak pernah terjadi dengan sempurna meskipun sudah dilengkapi dengan kontrol yang canggih. Pada motor diesel, besarnya emisi bentuk opasitas (ketebalan asap) tergantung banyaknya jumlah bahan bakar yang disemprotkan dalam silinder, karena pada motor diesel yang dikompresikan adalah udara murni. Dengan kata lain semakin kaya campuran maka semakin besar konsentrasi NO<sub>x</sub>, CO dan asap (*smoke*). Sementara itu semakin sedikit campuran konsentrasi NO<sub>x</sub>, CO dan asap juga semakin kecil. Pada proses pembakaran, bila karbon di dalam bahan bakar terbakar dengan sempurna akan menghasilkan CO<sub>2</sub> (karbon dioksida). Tetapi jika unsur oksigen (udara) tidak cukup maka yang terjadi adalah pembakaran tidak sempurna, sehingga karbon di dalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebagai berikut :



Dengan kata lain, emisi CO dari kendaraan banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran antara udara dengan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar (*Air-Fuel Ratio*). Jadi untuk mengurangi CO perbandingan campuran ini harus dibuat kurus (*excess air*). (Darsono, 2010).

Gas nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dapat dibagi menjadi dua macam yaitu gas nitrogen dioksida dan gas nitrogen monoksida. Kedua gas tersebut memiliki sifat yang berbeda namun, keduanya berbahaya bagi kesehatan. Udara yang mengandung gas NO dapat berbahaya jika dalam konsentrasi yang tinggi. (Alhaq, 2015).

Emisi NO<sub>x</sub> dengan kandungan B100 diobservasi dengan membandingkan dengan bahan bakar tanpa campuran (B0) pada *load* 100%. Hasil ini didukung dengan hasil percobaan pada combustion petrodiesel. Peningkatan kadar emisi NO<sub>x</sub> sebesar 11,6 %. Kenaikan kadar emisi NO<sub>x</sub> menandakan juga kenaikan pada nilai *heat release*. (Pham, 2018)

Pada prinsipnya, temperatur maksimum, durasi penurunan temperature dan konsentrasi oksigen didalam bahan bakar memiliki efek dominan pada emisi NO<sub>x</sub>. Semakin tinggi angka temperature maksimum dan semakin lama penurunan temperatur bakar maka akan menghasilkan nilai emisi NO<sub>x</sub> yang semakin tinggi pula. (Xing, 2003).

Pada penelitian ini batasan kadar emisi NO<sub>x</sub> mengacu pada peraturan IMO. Kontrol Tier III hanya berlaku untuk kapal yang ditentukan saat beroperasi di Area Pengendalian Emisi (ECA) yang ditetapkan untuk membatasi emisi NO<sub>x</sub>, di luar area tersebut kontrol Tier II berlaku. Sesuai dengan peraturan 13.5.2, kapal-kapal kecil tertentu tidak akan diperlukan untuk memasang mesin Tier III. Mesin diesel laut yang dipasang di kapal yang dibangun pada atau setelah 1 Januari 2016 dan beroperasi di ECA Amerika Utara dan ECA Laut Karibia Amerika Serikat harus mematuhi standar Tier III NO<sub>x</sub>. (IMO).

Tabel 2. 4. Standart Emisi NOx (IMO, 2018)

Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh) n = engine's rated speed (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 January 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 January 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 January 2016	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 2.4	2.0

Untuk memenuhi tingkat keparahan batas emisi kendaraan yang meningkat, pengurangan polutan pembuangan yang signifikan dari mesin pembakaran dalam harus dipaksakan. Perbaikan yang ditandai dalam penghematan bahan bakar mesin sangat dibutuhkan untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> kendaraan. Ada banyak teknologi untuk mempromosikan perlindungan lingkungan global dan memanfaatkan sumber energi secara efektif. (Cho, 2009).

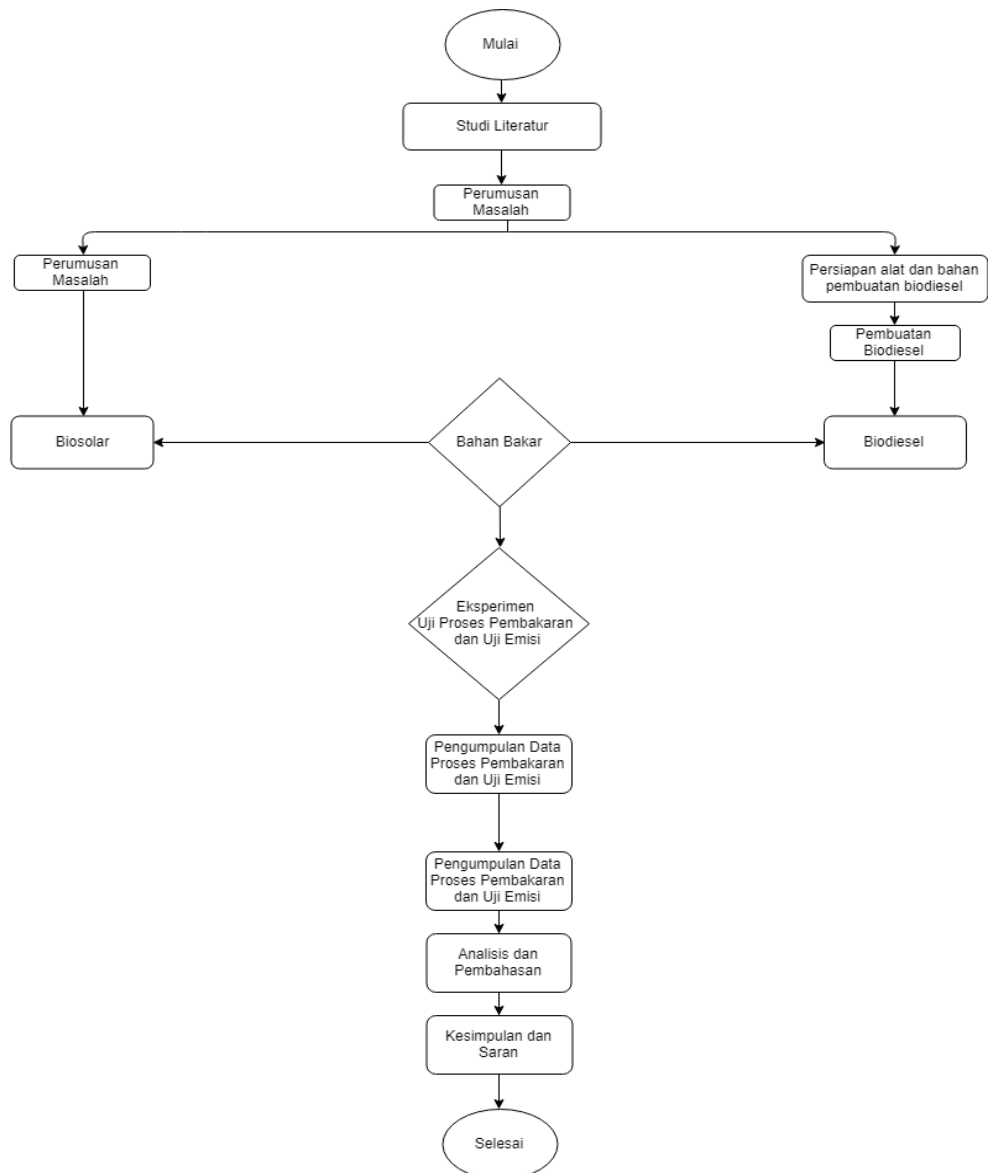
Gusma(2016), melakukan eksperimen perbandingan combustion process mesin diesel dari bahan bakar biodiesel minyak umbi porang (*amarphullus onchophillus*) dan pertamina dex dengan menggunakan mesin YANMAR TF85-MH dan didapatkan kesimpulan yaitu biodiesel umbi porang lebih banyak menghasilkan panas, ignition delay yang lebih lama dan menghasilkan *maximum pressure* yang paling tinggi jika dibandingkan dengan pertamina dex.

“Halaman sengaja dikosongkan”

### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses pembakaran kadar emisi yang dihasilkan oleh mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel campuran minyak biji kemiri. Gambar 3.1 adalah diagram dari penelitian



Gambar 3. 1. Metodologi Penelitian

### 3.1. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil emisi dan proses pembakaran motor diesel menggunakan bahan bakar biodiesel minyak biji kemiri dengan bahan bakar HSD.

### 3.2. Studi Literatur

Studi literatur berguna sebagai penunjang dalam menyusun penelitian ini. Studi literatur berasal dari beberapa sumber jurnal, paper, buku, dan internet. Pada penelitian ini studi literature bersangkutan dengan topik biodiesel, minyak biji kemiri, emisi mesin diesel, dll.

### 3.3. Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penelitian ini dibatasi, yaitu berupa:

1. Bagaimana hasil proses pembakaran yang dihasilkan oleh penggunaan biodiesel biji kemiri (*Aleurites Moluccana*)?
2. Bagaimana hasil kadar emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh penggunaan biodiesel biji kemiri (*Aleurites Moluccana*)?

### 3.4. Pra Eksperimen

Pada tahap pra eksperimen dilakukan persiapan-persiapan guna menunjang eksperimen ini. Salah satu hal yang harus disiapkan adalah alat dan bahan, berikut adalah alat dan bahan yang digunakan untuk eksperimen ini:

1. Bahan Bakar HSD
2. Bahan bakar biodiesel minyak biji kemiri
3. Motor diesel
4. *Stopwatch*
5. *Tachometer*
6. *Amperemeter*
7. *Electric Dynamometer*
8. *Control panel*
9. *Multimeter*

### 3.5. Pembuatan Biodiesel Minyak Kemiri

Pada Proses pembuatan biodiesel minyak kemiri, hal yang pertama dilakukan adalah pengepresan biji kemiri menjadi minyak, yang selanjutnya minyak tersebut melewati proses filtrasi (penyaringan). Setelah proses penyaringan selesai dan dipastikan minyak kemiri dalam keadaan bersih, langkah selanjutnya adalah menjadikan minyak kemiri menjadi biodiesel (B100). Ada tiga langkah utama yang dilewati untuk membuat biodiesel biji kemiri, yaitu:

- 1) Esterifikasi
- 2) Transesterifikasi
- 3) Destilasi

### 3.6. Karakteristik biodiesel kemiri

Selain pembuatan biodiesel, hal yang penting adalah mengenai karakteristik dari biodiesel minyak kemiri, berikut adalah karakteristik biodiesel minyak kemiri setelah dilakukan tes pada Lab Energi ITS (LPPM):

Tabel 3. 1. Karakteristik Biodiesel Minyak Kemiri

Parameter	Unit	Result of Tests		Test Method
		B20 Candlenut	B20 Candlenut (Pham, 2018)	
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	916	887	ASTMD1480 – 81
Viscosity at 40°C	Cst	4,6 - 6	4,24	ASTMD445– 97
Flash Point	°C	225		ASTMD93– 00
PourPoint	°C	-18	6,3	ASTM D97–85
Calorific Value	Cal/gr	9,387		Bomb Kalorimeter

Ada 5 parameter yang diuji untuk biodiesel minyak kemiri, diantaranya adalah:

- a) Densitas  
Densitas adalah berat jenis dari minyak yang dipengaruhi oleh temperature, semakin rendah nilai temperature maka nilai densitas akan semakin tinggi dan berlaku sebaliknya. Berat jenis dari biodiesel minyak kemiri pada penelitian ini adalah 938,7 kg/m<sup>3</sup>.
- b) Viskositas  
Viskositas adalah ukuran kekentalan dari bahan bakar. Ukuran kekentalan bahan bakar ini akan sangat perlu diperhatikan karena nilai viskositas ini akan sangat berpengaruh pada saat *injector* menginjeksi bahan bakar ke ruang bakar, semakin tinggi nilai viskositas maka penyemprotan bahan

bakar akan semakin tidak sempurna begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai viskositas maka penyemprotan akan semakin sempurna. Standard nasional untuk nilai viskositas adalah 2,3 – 6 Cst dan nilai viskositas dari bahan bakar biodiesel kemiri pada penelitian ini adalah 4,6 – 6 Cst. Hal itu berarti nilai viskositas biodiesel minyak kemiri masuk dalam standard nasional kualitas biodiesel.

c) Flash Point

Flash point adalah nilai yang menunjukkan pada suhu berapa kabut dari bahan bakar akan mulai terbakar. Pada standard nasional ditunjukkan bahwa minimal suhu flash point adalah 100 °C dan nilai flash point dari biodiesel minyak kemiri pada penelitian ini adalah 225 °C. hal itu menunjukkan bahwa bahan bakar biodiesel minyak kemiri memenuhi standard nilai flash point merujuk pada Standard Nasional Indonesia (SNI).

d) Pour Point

Pour point adalah nilai atau batasan suhu dimana bahan bakar mulai terbentuk kristal – kristal paraffin yang apabila terbentuk akan menyumbat jalannya aliran bahan bakar menuju ruang bakar. Nilai pour point dari biodiesel minyak kemiri pada penelitian ini adalah -18°C dan batas maksimal pour point menurut Standart Nasional Indonesia (SNI) adalah 18°C. hal ini menunjukkan bahwa nilai pour point biodiesel minyak kemiri memenuhi Standart Nasional Indonesia (SNI).

e) Nilai Kalor

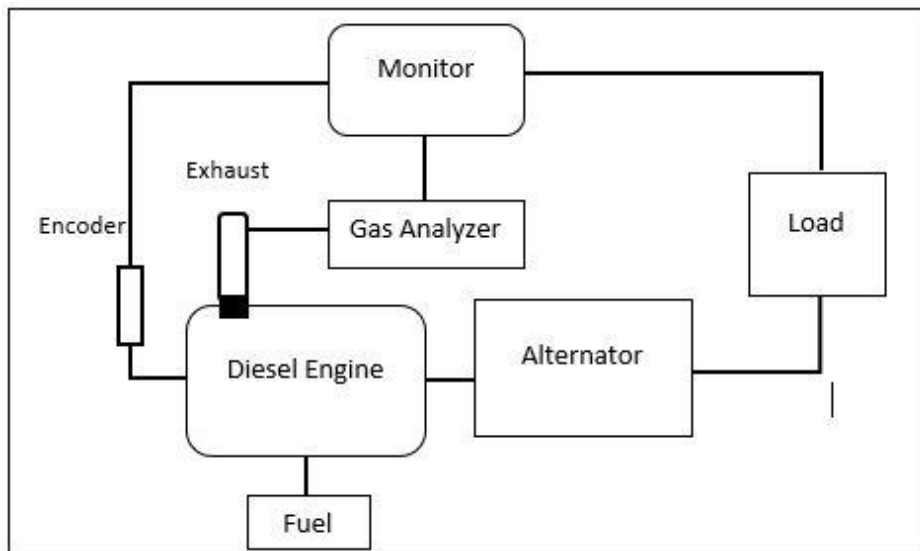
Nilai kalor adalah jumlah nilai panas atau kalor yang dapat dihasilkan oleh suatu bahan bakar pada proses pembakaran. Nilai kalor dari bahan bakar biodiesel minyak kemiri pada penelitian ini adalah 9,387 Cal/gr.

### 3.7. Eksperimen

Eksperimen dilakukan guna mendapatkan jawaban dari rumusan masalah yang telah dibuat. Pada tahap ini dilakukan pengambilan data kandungan emisi dan proses pembakaran yang dihasilkan oleh mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel minyak biji kemiri dibandingkan dengan hasil emisi dan pembakaran yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD. Berikut adalah alat-alat dan bahan yang digunakan pada proses eksperimen:

1. Bahan bakar biodiesel biji kemiri
2. Bahan bakar biosolar pertamina
3. *Tachometer*
4. Laptop
5. *Alternator*
6. Mesin diesel satu silinder YANMAR TF85-MH
7. *Gas analyser E-COM*
8. *Software TMR-card board and TMR crankangle-CPU*
9. *Software SYSMONSoft v2.0.3*

Variabel yang diuji pada eksperimen pengujian kadar emisi NO<sub>x</sub> sesuai dengan MARPOL annex VI. Sebelum dilakukan pengujian kadar emisi NO<sub>x</sub> dan combustion process, terlebih dahulu dilakukan pengujian performa bahan bakar guna mengetahui nilai dari daya maksimum dari mesin diesel. Cara untuk menguji performa mesin pada saat *load* 100% adalah dengan melihat saat SFOC menunjukkan nilai paling rendah. Gambar 3.2 menunjukkan engine set up untuk pengambilan data emisi NO<sub>x</sub>. Berikut adalah variasi *load* untuk pengujian emisi

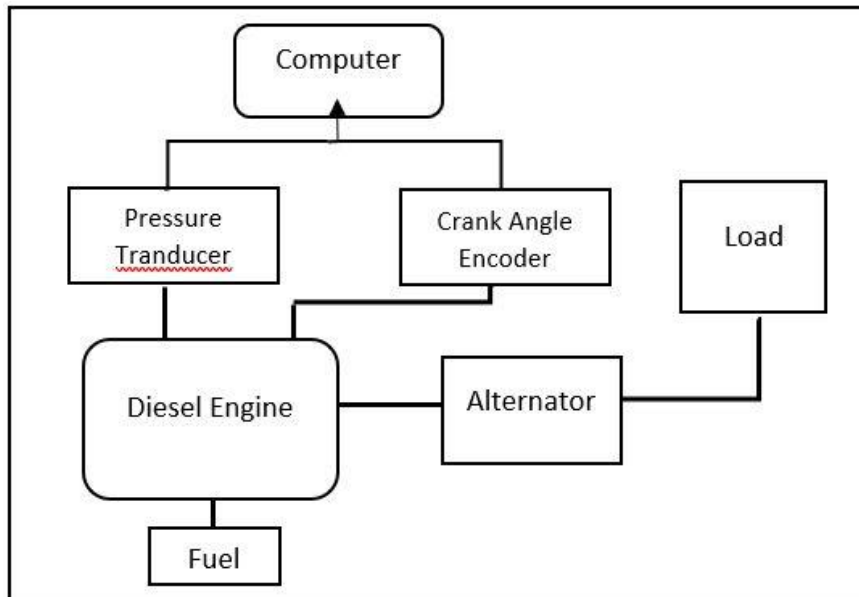


Gambar 3. 2. Engine Et Up Uji Emisi NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub> dan combustion process:

- ❖ Bahan bakar
  1. Biodiesel biji kemiri B20
  2. Bahan bakar HSD
- ❖ *Load*
  1. 25%
  2. 50%
  3. 75%
  4. 100%
- ❖ Putaran
  1. Konstan 2200 RPM
- ❖ Variabel Hasil
  1. NO<sub>x</sub>





Gambar 3. 3. Engine Set Up *Combustion Process*

Pada eksperimen proses pembakaran. Gambar 3.3 menunjukkan engine set up untuk pengambilan data combustion process variable uji yang digunakan adalah disesuaikan dengan variable uji pada pengujian kadar emisi NO<sub>x</sub>, yaitu:

- ❖ Bahan bakar
  1. Biodiesel biji kemiri B20
  2. Bahan bakar HSD
- ❖ *Load*
  1. 25%
  2. 50%
  3. 75%
  4. 100%
- ❖ Putaran
  1. Konstan 2200 RPM
- ❖ Variabel Hasil
  1. *Ignition delay*
  2. *Maximum pressure*
  3. *Knock detection*
  4. *Heat release*

Sebelum dilakukan uji coba pada mesin YANMAR TF-85, dilakukan terlebih dahulu *engine set up*, pada uji coba ini dilakukan pada mesin YANMAR TF-85 satu silinder dengan kapasitas 493cc dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B20 kemiri dan bahan bakar HSD sebagai bahan bakar pembanding. Beberapa hal yang harus disiapkan dalam proses uji coba combustion process selain mesin diesel adalah pressure transducer, crank angle encoder, computer dan *load*. Untuk pengambilan data emisi NOx beberapa komponen yang harus disiapkan adalah encoder, gas analyser *load* dan computer. Berikut adalah rancangan dari engine set up untuk pengambilan data combustion process dan uji emisi NOx biodiesel minyak kemiri

Tabel 3. 2. Batasan Kadar Emisi NOx (IMO, 2016)

TIER	DATE	NOx Limit, g/kWh		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
TIER I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
TIER II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
TIER III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

Uji kadar emisi NOx juga dilakukan pada mesin yang sama, yaitu YANMAR TF-85 satu silinder dengan kapasitas 493cc. Uji kadar emisi NOx mengacu pada aturan IMO yang mengatur mengenai kadar maksimal emisi NOx pada RPM tertentu. Berikut adalah table batas kadar emisi NOx menurut IMO.

### Pengumpulan Data

Setelah dilakukan eksperimen uji kadar emisi NOx dan proses pembakaran dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B20 kemiri dan bahan bakar HSD sebagai pembanding, beberapa data yang didapat pada pengujian kadar emisi NOx adalah NO dan NO2 sedangkan data yang didapatkan setelah dilakukannya uji proses pembakaran dengan bahan bakar yang sama adalah nilai *ignition delay*, *rate of heat release*, *knock detection* dan *maximum pressure*.

### Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan terhadap data yang didapatkan dari dua jenis bahan bakar yaitu biodiesel dengan bahan baku biji buah kemiri dan bahan bakar HSD. Analisis dan pembahasan dilakukan dengan cara membandingkan kadar emisi dan proses pembakaran yang dihasilkan oleh mesin diesel dengan bahan bakar biodiesel minyak biji kemiri dan bahan bakar HSD.

“Halaman sengaja dikosongkan”

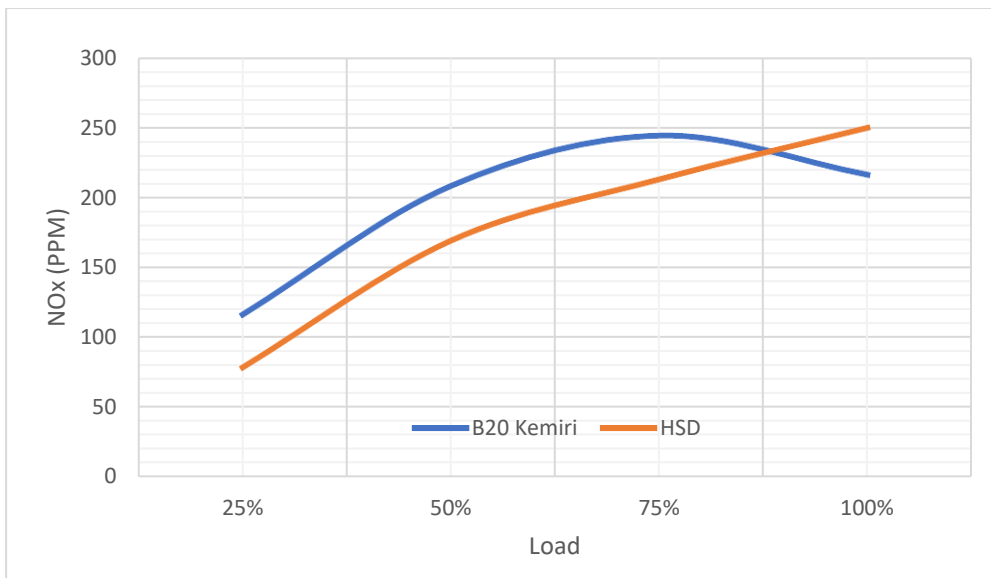
## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab hasil dan pembahasan akan disajikan data-data hasil pengujian berupa grafik beserta pembahasan dari hasil pengujian. Hasil pengujian meliputi hasil pengujian emisi NO<sub>x</sub> dari bahan bakar biodiesel kemiri dan bahan bakar HSD sebagai pembanding. Pengujian lain yaitu meliputi hasil pengujian combustion process yaitu berupa data maximum pressure, rate of heat release, heat release, knock detection, dan data ignition delay.

#### IV. 1. Analisis Emisi NO<sub>x</sub>

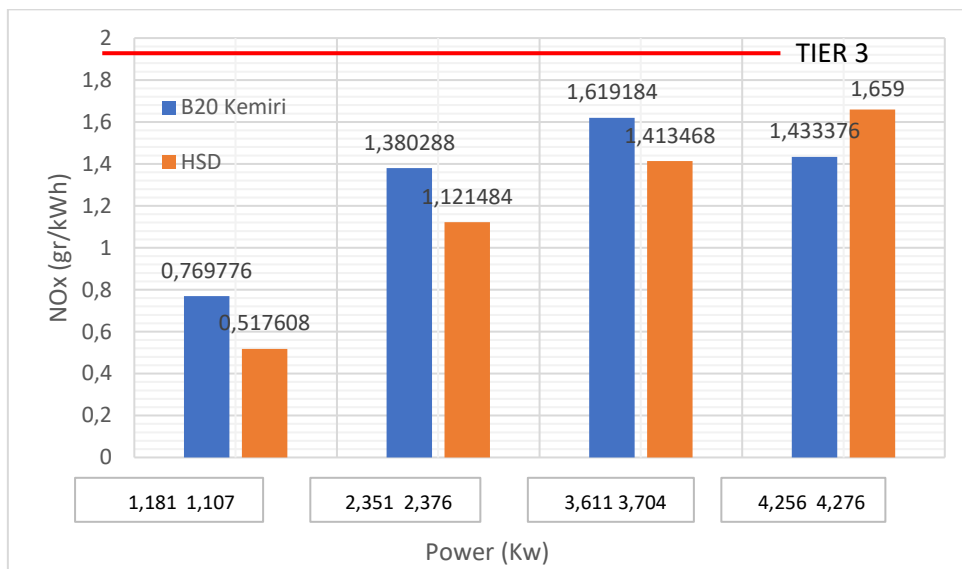
Analisis emisi NO<sub>x</sub> dilakukan untuk mengetahui perbandingan nilai emisi NO<sub>x</sub> antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD. Proses analisis emisi NO<sub>x</sub> dimulai dengan melakukan uji emisi menggunakan *gas analyzer* untuk mendapatkan nilai PPM dari tiap bahan bakar B20 kemiri dan juga bahan bakar HSD. Uji coba dilakukan pada keadaan mesin dengan RPM 2200 dan *load* 25%, 50%, 75%, 100%. Berikut adalah grafik yang menunjukkan perbandingan nilai PPM antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD.



Gambar 4. 1. Grafik Emisi NO<sub>x</sub> (PPM)

Pada gambar 4.1 dapat dilihat grafik yang menunjukkan bahwa kadar emisi NO<sub>x</sub> B20 kemiri pada *load* 25% dan daya 1,181 adalah 116 PPM dan kadar emisi NO<sub>x</sub> bahan bakar HSD pada *load* 25% dan daya 1,107 adalah 78 PPM, dapat ditarik kesimpulan bahwa pada *load* 25% jumlah emisi NO<sub>x</sub> bahan bakar B20 kemiri lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar HSD. Pada *load* 50% dan daya 2,351 kandungan emisi NO<sub>x</sub> bahan bakar B20 kemiri adalah 208 PPM dan kadar emisi NO<sub>x</sub> bahan bakar HSD pada *load* 50% dan daya 2,376 adalah 169, dapat ditarik kesimpulan bahwa pada *load* 50% kadar emisi bahan bakar B20 kemiri lebih besar dibandingkan kadar emisi bahan

bakar HSD. Pada *load* 75% dan daya 3,611 kandungan emisi NO<sub>x</sub> bahan bakar B20 kemiri adalah 244 PPM dan kadar emisi NO<sub>x</sub> bahan bakar HSD pada *load* 75% dan daya 3,704 adalah 213 PPM, dapat ditarik kesimpulan bahwa pada *load* 75% kadar emisi bahan bakar B20 kemiri lebih besar dibandingkan kadar emisi bahan bakar HSD. Pada *load* 100% dan daya 4,256 kandungan emisi NO<sub>x</sub> bahan bakar B20 kemiri adalah 216 PPM dan kadar emisi NO<sub>x</sub> bahan bakar HSD pada *load* 100% dan daya 4,276 adalah 250 PPM, dapat ditarik kesimpulan bahwa pada *load* 100% kadar emisi bahan bakar HSD kemiri lebih besar dibandingkan kadar emisi bahan bakar B20 kemiri.



Gambar 4. 2. Grafik Emisi NO<sub>x</sub> (gr/kWh)

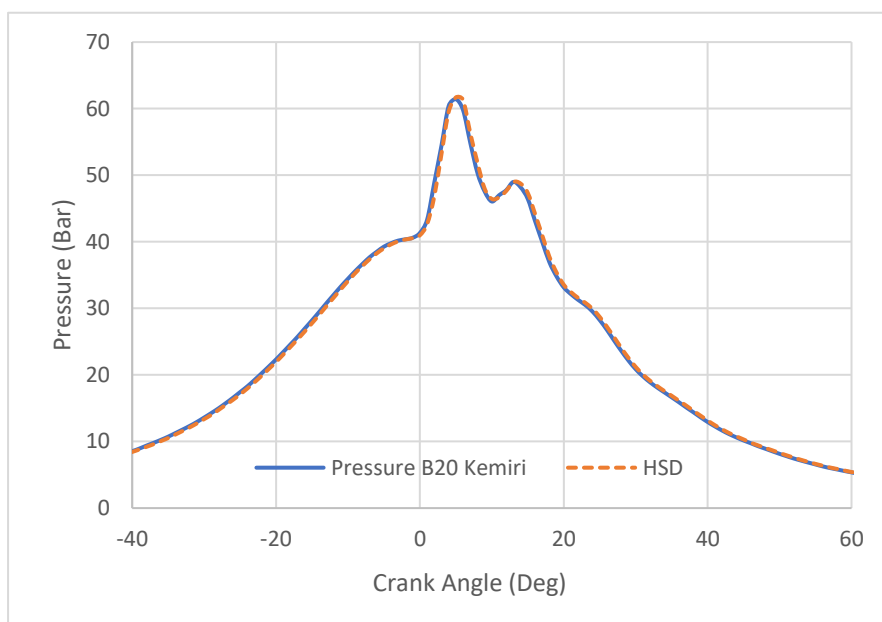
Pada gambar 4.2 terlampir grafik hasil uji emisi NO<sub>x</sub> dari biodiesel biji kemiri dengan campuran B20 dibandingkan dengan bahan bakar HSD. Metode pengujian yang digunakan pada pengujian ini mengacu pada IMO Marpol Annex VI yaitu pengujian dilakukan pada saat RPM maksimum (2200) pada 4 *load* berbeda. Berdasarkan lampiran grafik pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh biodiesel biji kemiri sedikit lebih rendah dari nilai emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD.

Pada penelitian kali ini parameter yang digunakan adalah pada RPM 2200 dan pada *load* 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pada *load* 25% dan RPM 2200 bahan bakar B20 kemiri menghasilkan daya 1,1825% dan kadar emisi NO<sub>x</sub> biodiesel biji kemiri menunjukkan nilai 0,769 PPM nilai ini lebih besar dari emisi NO<sub>x</sub> HSD dengan *load* 25% dan RPM yang sama menghasilkan daya yaitu 1,107 dan emisi NO<sub>x</sub> sebesar 0,517 PPM. Pada *load* 50% dan RPM 2200 bahan bakar B20 kemiri menghasilkan daya sebesar 2,3525% dan nilai emisi NO<sub>x</sub> biodiesel biji kemiri menunjukkan nilai 1,380 PPM nilai ini juga lebih besar apabila dibandingkan nilai emisi NO<sub>x</sub> HSD milik dengan *load* 50% dan RPM 2200 yang menghasilkan daya sebesar 2,376 kW yaitu 1,121 PPM. Pada *load* 75% dan RPM 2200 bahan bakar B20 kemiri menghasilkan daya sebesar 3,6125% dan kadar emisi NO<sub>x</sub> biodiesel biji kemiri menunjukkan nilai 1,619 PPM sedangkan kadar

emisi NO<sub>x</sub> HSD pada *load* dan RPM yang sama dengan daya 3,704 menunjukkan nilai 1,413 PPM. Pada pemloadan maksimal yaitu 100% dan RPM 2200 bahan bakar B20 kemiri menghasilkan daya sebesar 4,256 dan emisi NO<sub>x</sub> nya adalah 1,433 PPM, nilai tersebut lebih kecil apabila dibandingkan dengan kadar NO<sub>x</sub> bahan bakar HSD dengan *load* 100% dan RPM 220 yang menghasilkan *load* sebesar 4,276 dan mengeluarkan kadar emisi NO<sub>x</sub> sebesar 1,659.

## IV. 2. Proses Pembakaran

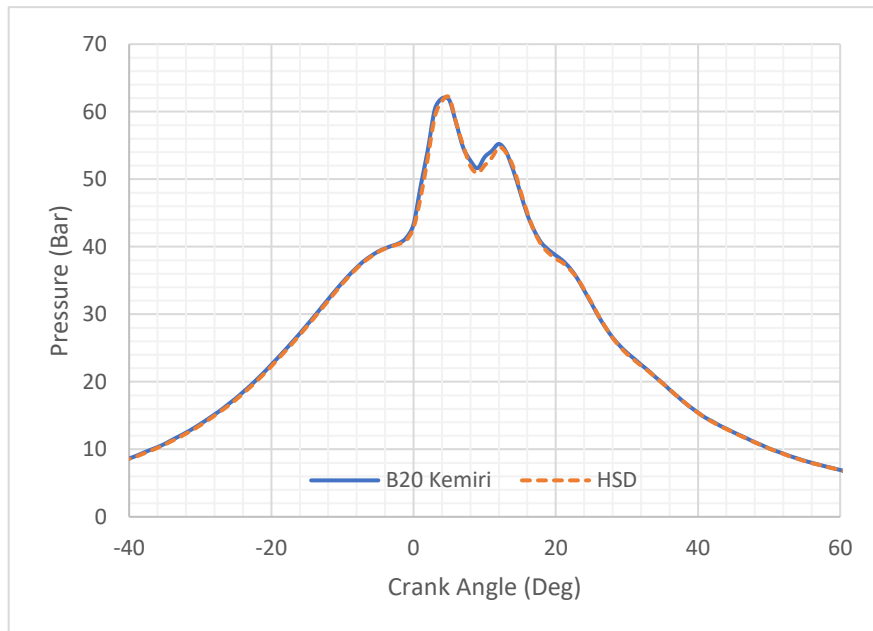
### IV. 2. 1. Analisis *Maximum Pressure* pada RPM 2200, *Load* 25%



Gambar 4. 3. Grafik Maximum Pressure

Gambar 4.3 menunjukkan grafik perbandingan nilai *maximum pressure*. Analisis *maximum pressure* dilakukan guna mengetahui nilai tekanan maksimum bahan bakar pada saat proses pembakaran dan juga posisinya saat mencapai *maximum pressure* tersebut. Pada RPM 2200 dan *load* 25% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 1,181 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 1,107. Pada gambar 4.4 terlihat grafik yang menunjukkan bahwa *maximum pressure* dari bahan bakar B20 kemiri yaitu 61,44 bar bar pada posisi 5° yang berarti sedikit lebih kecil apabila dibandingkan dengan *maximum pressure* dari HSD yang bernilai 61,69 bar pada posisi 5°.

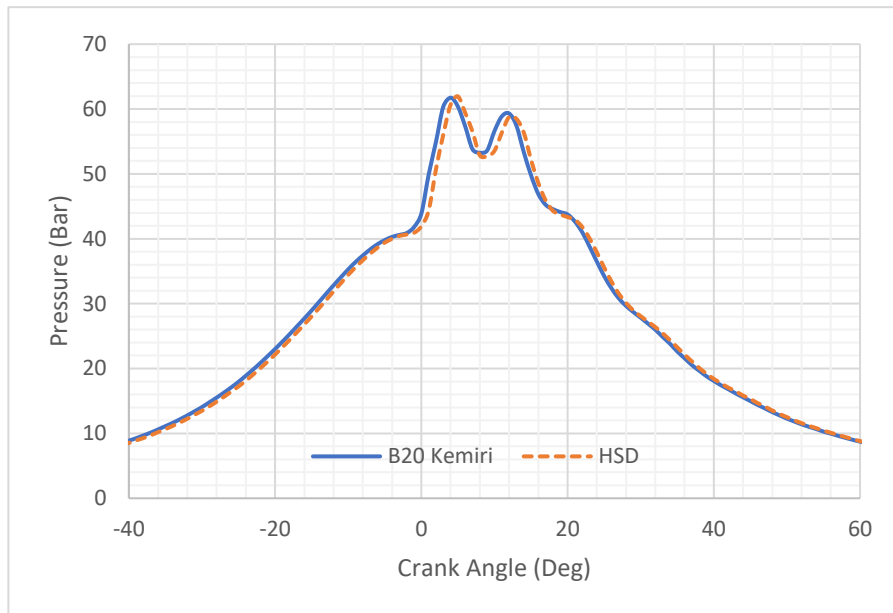
#### IV. 2. 2. Analisis *Maximum Pressure* pada RPM 2200, Load 50%



Gambar 4. 4. Grafik Maximum Pressure

Gambar 4.4 menunjukkan grafik perbandingan salah satu nilai yang ada pada proses pembakaran, yaitu nilai *maximum pressure*. Analisis *maximum pressure* dilakukan guna mengetahui berapa tekanan maksimum bahan bakar pada saat proses pembakaran dan juga posisinya saat mencapai *maximum pressure* tersebut. Pada RPM 2200 dan *load* 50% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 2,351 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 2,376. Pada gambar 4.5 terlihat grafik yang menunjukkan bahwa makimum pressure dari bahan bakar biodiesel kemiri yaitu 62,09 bar pada posisi 5° dan cenderung sama apabila dibandingkan dengan nilai maximum pressure bahan bakar HSD .

#### IV. 2. 3. Analisis *Maximum Pressure* pada RPM 2200, Load 75%

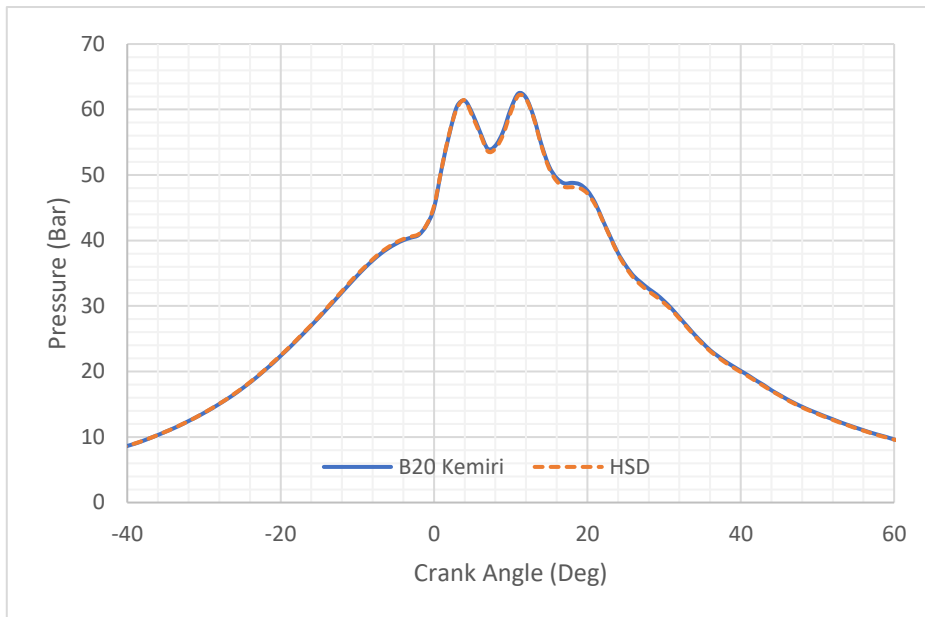


Gambar 4. 5. Grafik Maximum Pressure

Gambar 4.5 menunjukkan grafik perbandingan salah satu nilai yang ada pada proses pembakaran, yaitu nilai *maximum pressure*. Analisis *maximum pressure* dilakukan guna mengetahui berapa tekanan maksimum bahan bakar pada saat proses pembakaran dan juga posisinya saat mencapai *maximum pressure* tersebut. Pada RPM 2200 dan *load* 75% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 3,611 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 3,704. Pada gambar 4.6 terlihat grafik yang menunjukkan bahwa makimum pressure dari bahan bakar biodiesel kemiri yaitu 61,75 bar pada posisi 4° yang berarti lebih kecil apabila dibandingkan dengan *maximum pressure* dari HSD yang bernilai 61,94 pada posisi 5°.



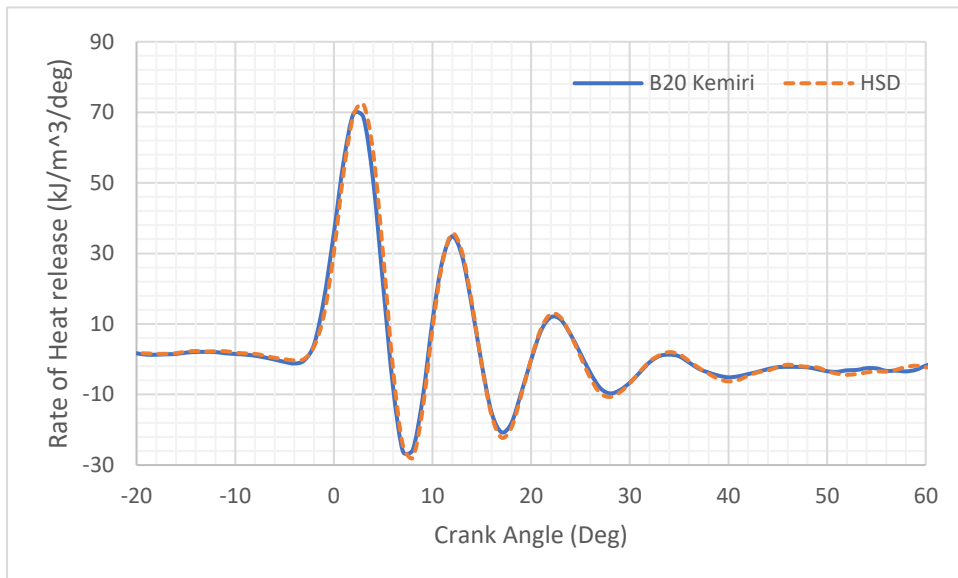
#### IV. 2. 4. Analisis *Maximum Pressure* pada RPM 2200, Load 100%



Gambar 4. 6. Grafik Maximum Pressure

Gambar 4.6 menunjukkan grafik perbandingan salah satu nilai yang ada pada proses pembakaran, yaitu nilai *maximum pressure*. Analisis *maximum pressure* dilakukan guna mengetahui berapa tekanan maksimum bahan bakar pada saat proses pembakaran dan juga posisinya saat mencapai *maximum pressure* tersebut. Pada RPM 2200 dan *load* 100% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 4,256 kW dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 4,276. Pada gambar 4.7 terlihat grafik yang menunjukkan bahwa maksimum pressure dari bahan bakar biodiesel kemiri yaitu 62,134 bar pada posisi 4° yang berarti cenderung sama dengan nilai maximum pressure bahan bakar HSD.

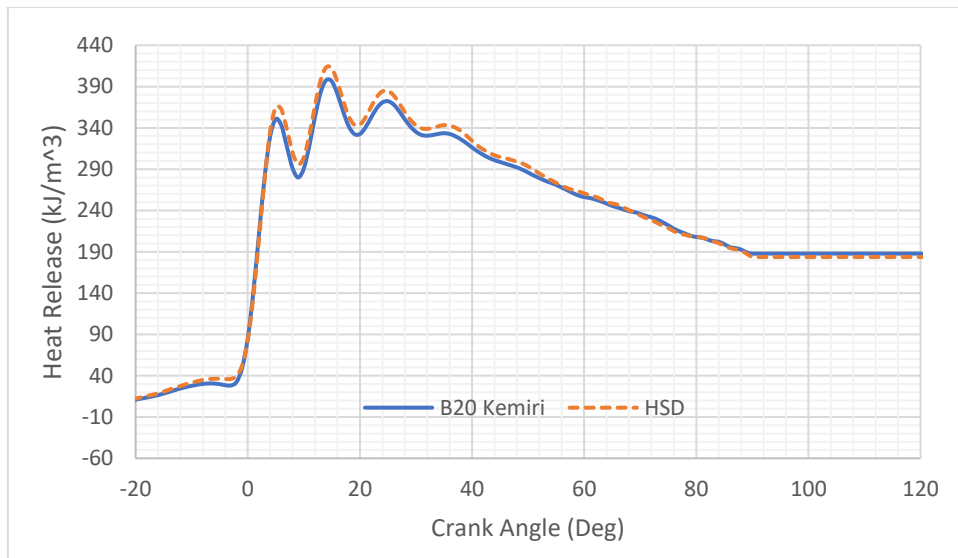
#### IV. 2. 5. Analisis Rate of Heat release (ROHR) pada RPM 2200, Load 25%



Gambar 4. 7. Grafik Rate of Heat Release

Analisis *rate of heat release* dilakukan dengan membandingkan awal terjadinya *rate of heat release* atau pelepasan energi panas dan membandingkan *peak of rate of heat release* masing-masing bahan bakar. Pada RPM 2200 dan *load* 25% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 1,181 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 1,107. Pada gambar 4.7 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *rate of heat release* antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa dimulainya proses pelepasan energi B20 kemiri yaitu pada 2° setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya adalah 3,623 kJ/m³/deg. Pada grafik 4.7 juga dapat dilihat bahwa proses dimulainya pelepasan energi pada bahan bakar HSD juga dimulai pada 2° setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya juga 3,623 kJ/m³/deg, sedangkan untuk nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar B20 kemiri adalah 68,561 kJ/m³/deg pada 3° setelah TMA dan nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar HSD adalah 72,268 kJ/m³/deg pada 3° setelah TMA.

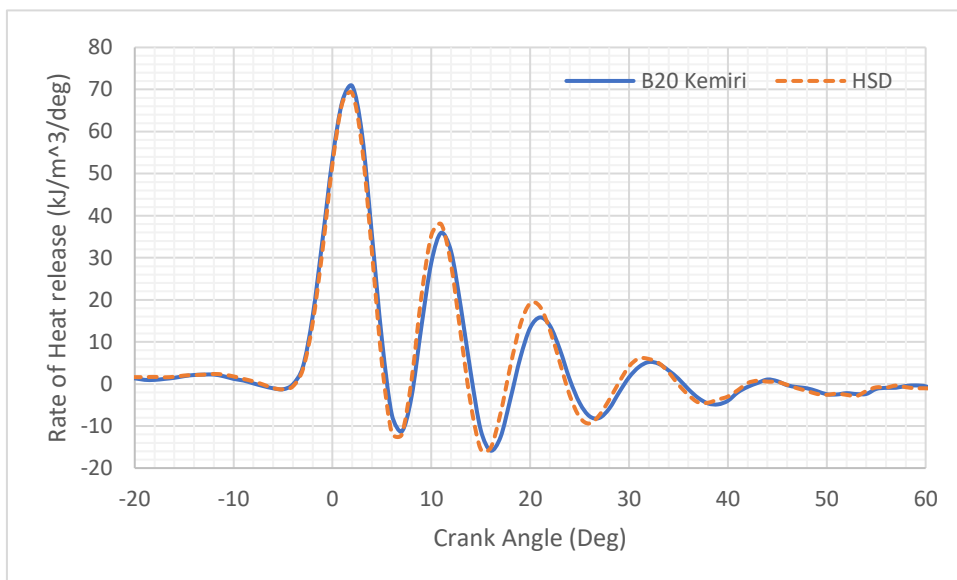
#### IV. 2. 6. Analisis Heat Release pada RPM 2200, Load 25%



Gambar 4. 8. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan *load* 25% adalah 411,64 kJ/m<sup>3</sup> pada titik 16 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 2200 dan *load* 25% adalah 396,173 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 16 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri cenderung sama yaitu di angkat 183 kJ/m<sup>3</sup> pada sudut 92 °CA

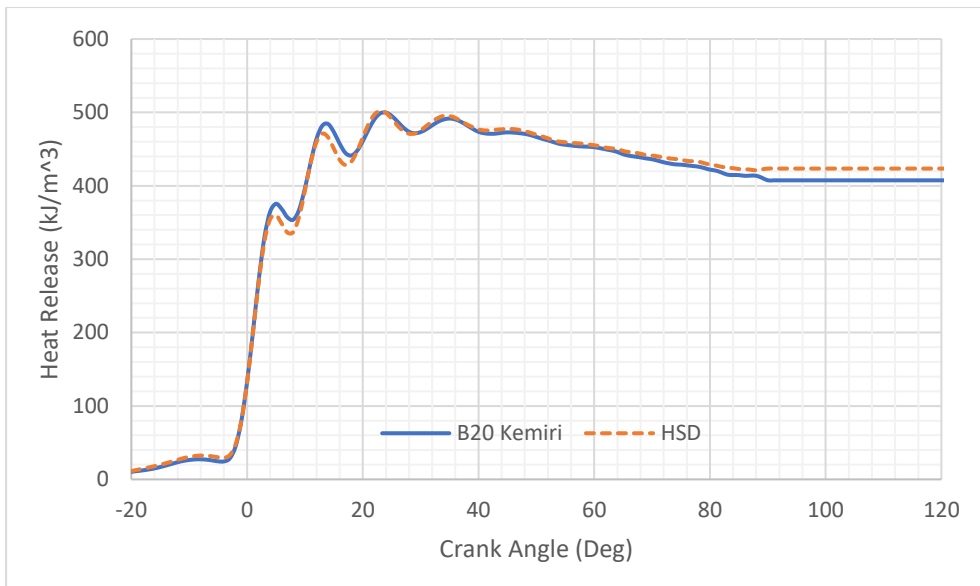
#### IV. 2. 7. Analisis Rate of Heat Release (ROHR) pada RPM 2200, Load 50%



Gambar 4. 9. Grafik Rate of Heat Release

Analisis *rate of heat release* dilakukan dengan membandingkan awal terjadinya *rate of heat release* atau pelepasan energi panas dan membandingkan *peak of rate of heat release* masing-masing bahan bakar. Pada RPM 2200 dan *load* 50% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 2,351 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 2,376. Pada gambar 4.9 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *rate of heat release* antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa dimulainya proses pelepasan energi B20 kemiri yaitu pada 3 °CA sebelum TMA dan nilai *rate of heat release* nya adalah 3,427 kJ/m³/deg. Pada gambar 4.9 juga dapat dilihat bahwa proses dimulainya pelepasan energi pada bahan bakar HSD juga dimulai pada 3 °CA sebelum TMA dan nilai *rate of heat release* nya juga 3,427 kJ/m³/deg, juga untuk nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD menunjukkan nilai yang cenderung sama yaitu pada angka 69,120 kJ/m³/deg pada 2 °CA setelah TMA.

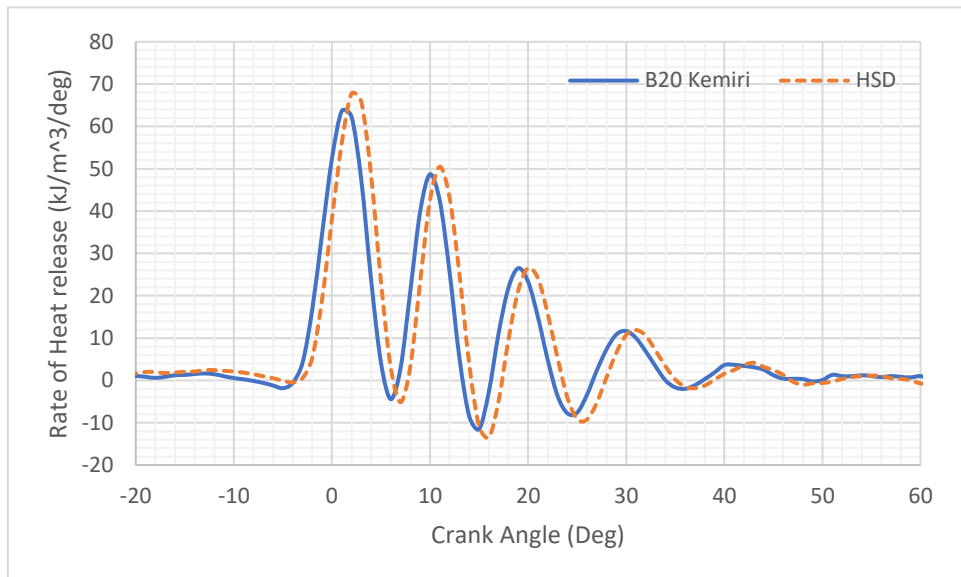
#### IV. 2. 8. Analisis *Heat Release* pada RPM 2200, Load 50%



Gambar 4. 10. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan *load* 50% adalah 499,37 kJ/m<sup>3</sup> pada titik 24 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 2200 dan *load* 25% adalah 499,71 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 24 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri cenderung sama yaitu di angkat 424 kJ/m<sup>3</sup> pada sudut 89 °CA setelah TMA

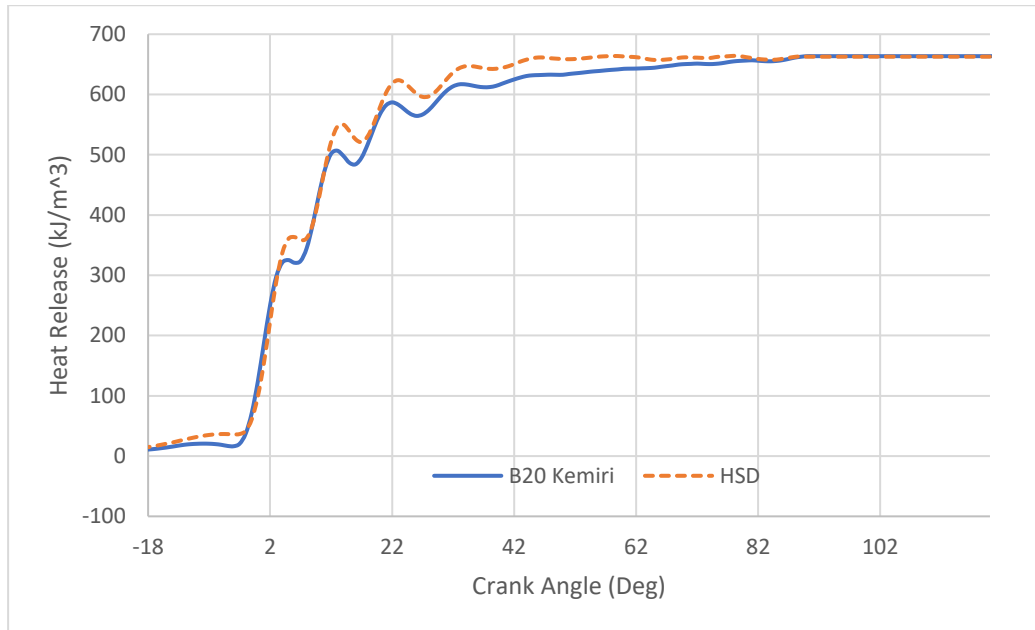
#### IV. 2. 9. Analisis *Rate of Heat Release (ROHR)* pada RPM 2200, Load 75%



Gambar 4. 11. Grafik Rate of Heat Release

Analisis *rate of heat release* dilakukan dengan membandingkan awal terjadinya *rate of heat release* atau pelepasan energi panas dan membandingkan *peak of rate of heat release* masing-masing bahan bakar. Pada RPM 2200 dan *load* 75% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 3,611 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 3,704. Pada gambar 4.11 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *rate of heat release* antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa dimulainya proses pelepasan energi B20 kemiri yaitu pada 3 °CA sebelum TMA dan nilai *rate of heat release* nya adalah 4,168 kJ/m³/deg. Pada gambar 4.11 juga dapat dilihat bahwa proses dimulainya pelepasan energi pada bahan bakar HSD juga dimulai pada 2° sebelum TMA dan nilai *rate of heat release* nya juga 5,42 kJ/m³/deg, juga untuk nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar B20 kemiri adalah 62,26 pada 2 °CA setelah TMA dan bahan bakar HSD menunjukkan nilai 65,73 pada 3° setelah TMA.

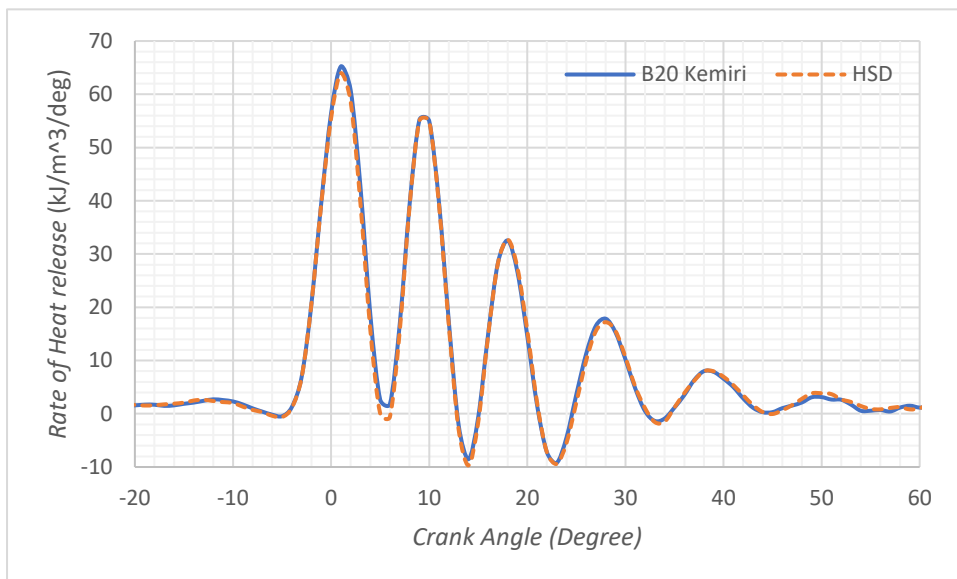
#### IV. 2. 10. Analisis *Heat Release* pada RPM 2200, Load 75%



Gambar 4. 12. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan *load* 75% adalah 660,108 kJ/m<sup>3</sup> pada titik 48 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 2200 dan *load* 25% adalah 632,204 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 47 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri cenderung sama yaitu di angkat 662,72 kJ/m<sup>3</sup> pada sudut 92 °CA setelah TMA.

#### IV. 2. 11. Analisis Rate Heat Release (ROHR) pada RPM 2200, Load 100%

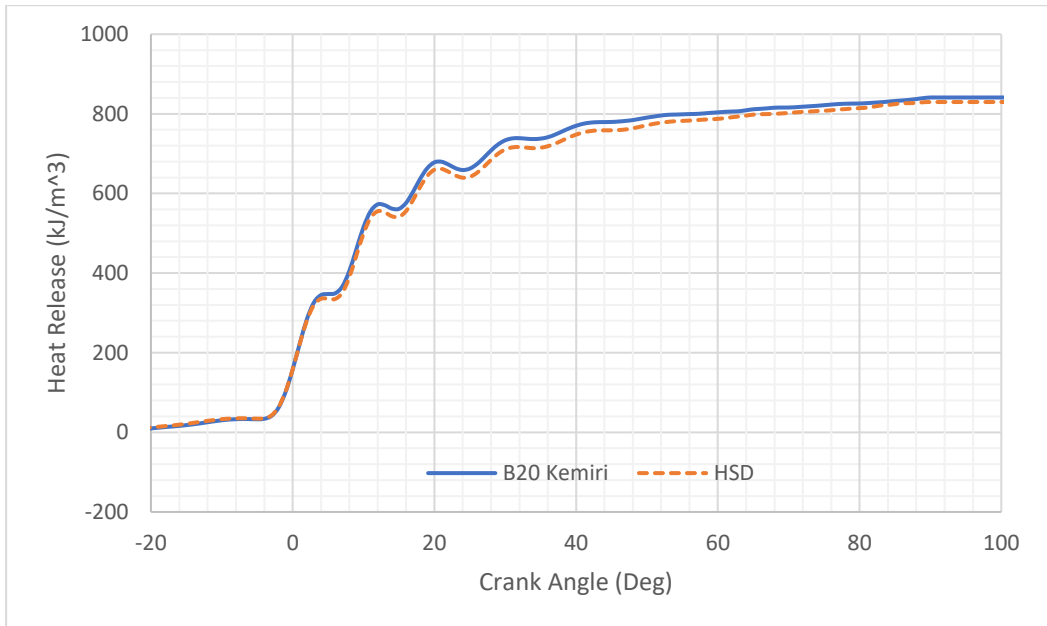


Gambar 4. 13. Grafik Rate of Heat Release

Analisis *rate of heat release* dilakukan dengan membandingkan awal terjadinya *rate of heat release* atau pelepasan energi panas dan membandingkan *peak of rate of heat release* masing-masing bahan bakar. Pada RPM 2200 dan *load* 100% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 4,256 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 4,276. Pada gambar 4.13 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *rate of heat release* antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa dimulainya proses pelepasan energi B20 kemiri yaitu pada 4 °CA sebelum TMA dan nilai *rate of heat release* nya adalah 1,19 kJ/m³/deg. Pada gambar 4.13 juga dapat dilihat bahwa proses dimulainya pelepasan energi pada bahan bakar HSD juga dimulai pada 4 °CA sebelum TMA dan nilai *rate of heat release* nya juga 1,19 kJ/m³/deg, untuk nilai *peak of rate of heat release* bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD cenderung memiliki nilai yang sama yaitu 63,95 pada 1 °CA setelah TMA.



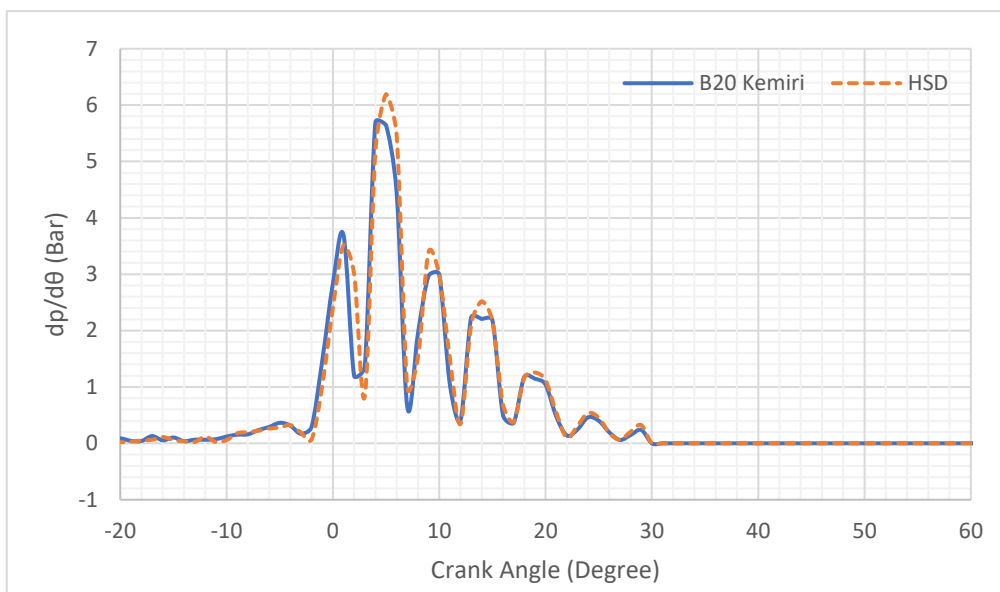
#### IV. 2. 12. Analisis *Heat Release* pada RPM 2200, Load 100%



Gambar 4. 14. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan *load* 100%% adalah 779,73 kJ/m<sup>3</sup> pada titik 51 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 2200 dan *load* 25% adalah 782,30 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 51 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri cenderung sama yaitu di angkat 826,74 kJ/m<sup>3</sup> pada sudut 89 °CA setelah TMA.

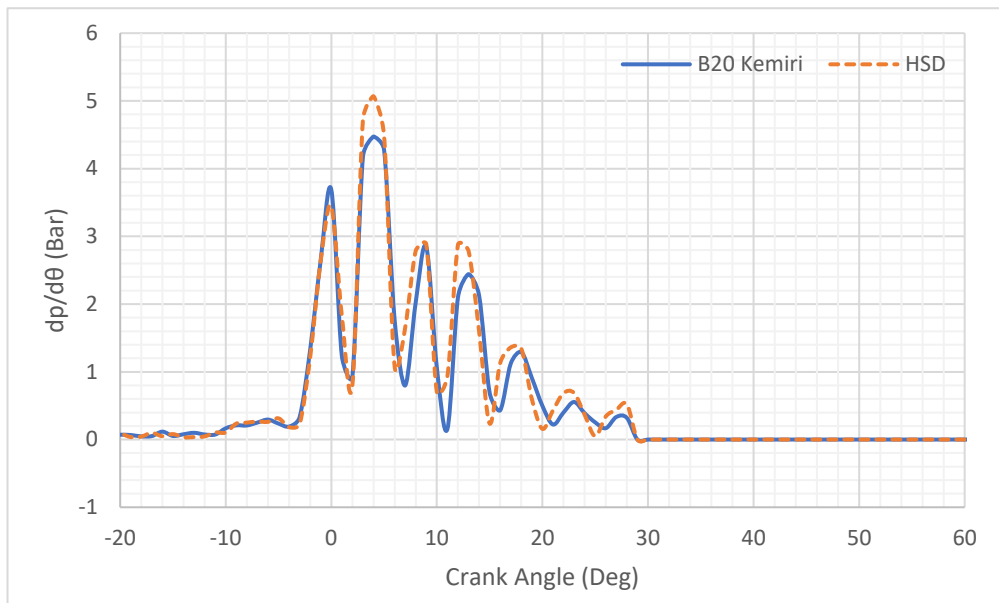
#### IV. 2. 9. Analisis *Knock detection* pada RPM 2200, Load 25%



Gambar 4. 15. Grafik Knock Detection

Analisis *knock detection* dilakukan dengan membaca tekanan puncak yang dihasilkan oleh tiap bahan bakar. *Knock detection* disebabkan oleh terjadinya ledakan yang tidak tepat waktu, bisa jadi setelah proses injeksi atau sebelum proses injeksi. Pada RPM 2200 dan load 25% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 1,181 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan load yang sama adalah 1,107. Pada gambar 4.15 dapat dilihat grafik yang menunjukkan data *knock detection* dari bahan bakar HSD dan juga B20 kemiri. Pada gambar 4.15 dapat dilihat bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan load 25% adalah 6,192 bar pada posisi sudut 5 °CA setelah TMA, sedangkan pada bahan bakar biodiesel kemiri nilai dari *knock detection* pada RPM 2200 dan load 25% adalah 5,69 bar pada sudut 4 °CA setelah TMA. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan dengan *knock detection* bahan bakar B20 kemiri pada RPM 2200 dan load 25%.

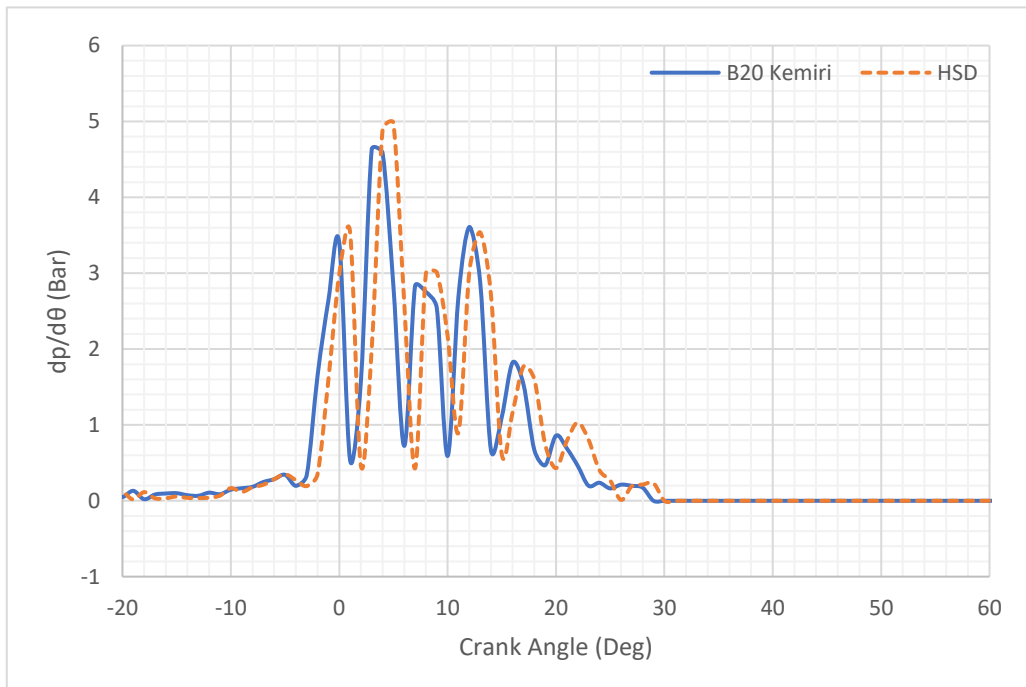
#### IV. 2. 10. Analisis *Knock detection* pada RPM 2200, Load 50%



Gambar 4. 16. Grafik Knock Detection

Analisis *knock detection* dilakukan dengan membaca tekanan puncak yang dihasilkan oleh tiap bahan bakar. *Knock detection* disebabkan oleh terjadinya ledakan yang tidak tepat waktu, bias jadi setelah proses injeksi atau sebelum proses injeksi. Pada RPM 2200 dan load 50% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 2,351 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan load yang sama adalah 2,376. Pada gambar 4.13 dapat dilihat grafik yang menunjukkan data *knock detection* dari bahan bakar HSD dan juga B20 kemiri. Pada gambar 4.16 dapat dilihat bahwa nilai *knock detection* bahan HSD pada RPM 2200 dan load 50% adalah 5,06 bar pada posisi sudut 4 °CA setelah TMA, sedangkan pada bahan bakar biodiesel kemiri nilai dari *knock detection* pada RPM 2200 dan load 50% adalah 4,48 bar pada sudut 5 °CA setelah TMA. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai knocking bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan dengan knocking bahan bakar biodiesel kemiri pada RPM 2200 dan load 50%.

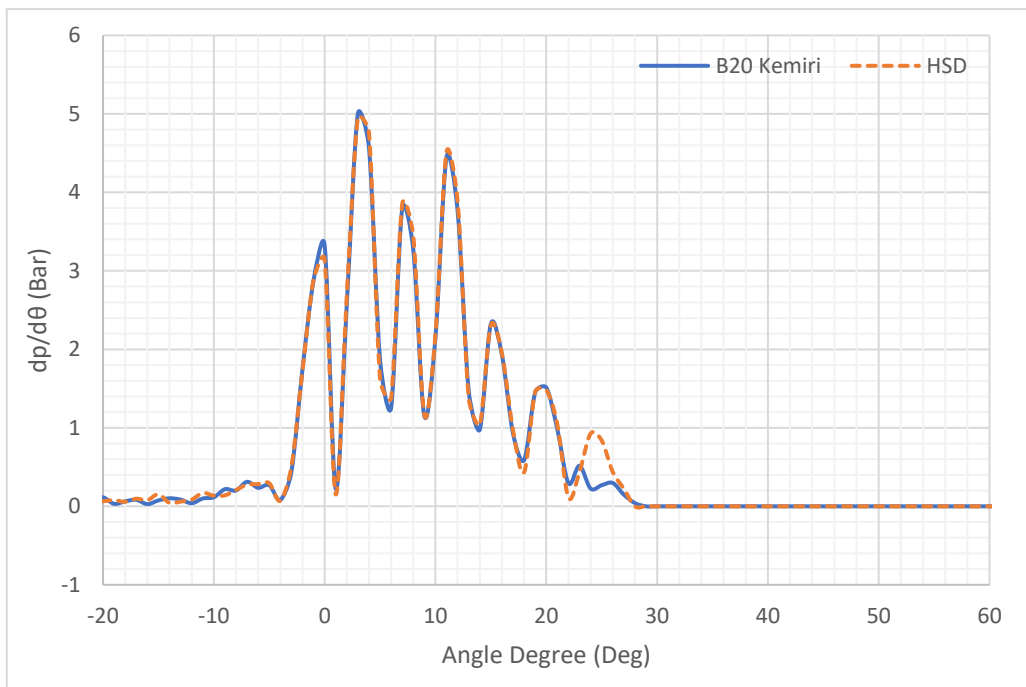
#### IV. 2. 11. Analisis *Knock detection* pada RPM 2200, Load 75%



Gambar 4. 17. Grafik Knock Detection

Analisis *knock detection* dilakukan dengan membaca tekanan puncak yang dihasilkan oleh tiap bahan bakar. *Knock detection* disebabkan oleh terjadinya ledakan yang tidak tepat waktu, bisa jadi setelah proses injeksi atau sebelum proses injeksi. Pada RPM 2200 dan *load* 75% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 3,611 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 3,704. Pada gambar 4.17 dapat dilihat grafik yang menunjukkan data *knock detection* dari bahan bakar HSD dan juga biodiesel kemiri. Pada gambar 4.17 dapat dilihat bahwa nilai *knock detection* bahan bakar solar pada RPM 2200 dan *load* 75% adalah 4,97 bar pada posisi sudut 5 °CA setelah TMA, sedangkan pada bahan bakar biodiesel kemiri nilai dari *knock detection* pada RPM 2200 dan *load* 75% adalah 4,8 bar pada sudut 3 °CA setelah TMA. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel pada RPM 2200 dan *load* 75%.

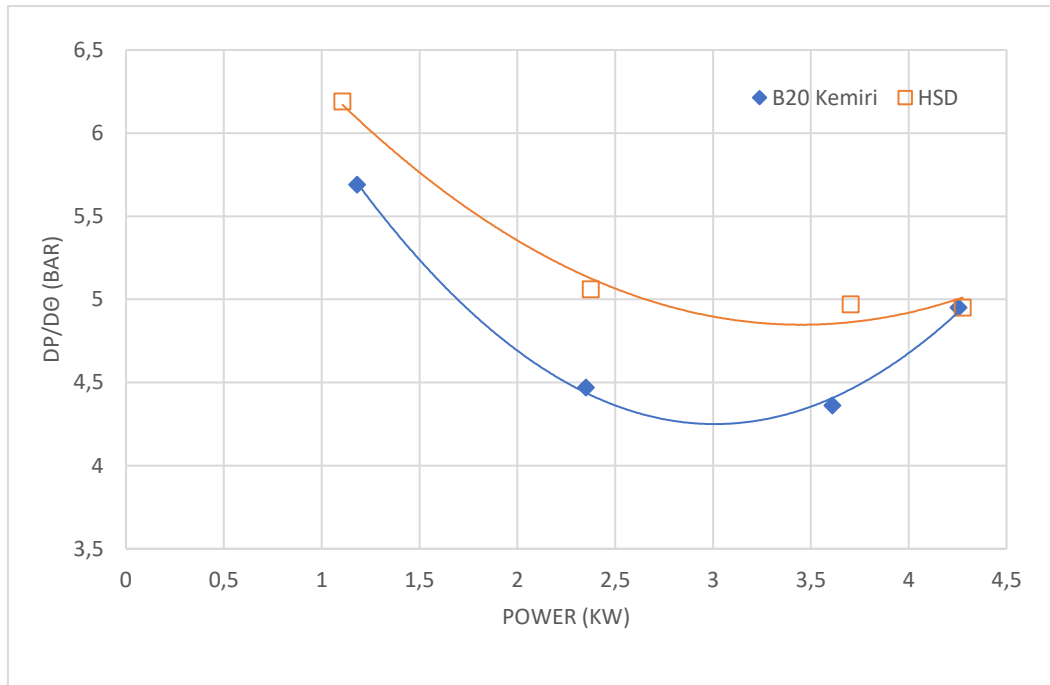
#### IV. 2. 12. Analisis *Knock Detection* pada RPM 2200, Load 100%



Gambar 4. 18. Grafik Knock Detection

Analisis *knock detection* dilakukan dengan membaca tekanan puncak yang dihasilkan oleh tiap bahan bakar. *Knock detection* disebabkan oleh terjadinya ledakan yang tidak tepat waktu, bias jadi setelah proses injeksi atau sebelum proses injeksi. Pada RPM 2200 dan load 100% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 4,256 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan load yang sama adalah 4,276. Pada gambar 4.18 dapat dilihat grafik yang menunjukkan data *knock detection* dari bahan bakar biosolar dan juga biodiesel kemiri. Pada gambar 4.18 dapat dilihat bahwa nilai *knock detection* bahan bakar solar pada RPM 2200 dan load 100% adalah 5,01 bar pada posisi sudut 3 °CA setelah TMA, dan pada bahan bakar biodiesel kemiri nilai dari *knock detection* pada RPM 2200 dan load 100% adalah 5,01 bar pada sudut 3 °CA setelah TMA. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai knocking pada bahan bakar HSD dan juga bahan bakar B20 kemiri adalah sama.

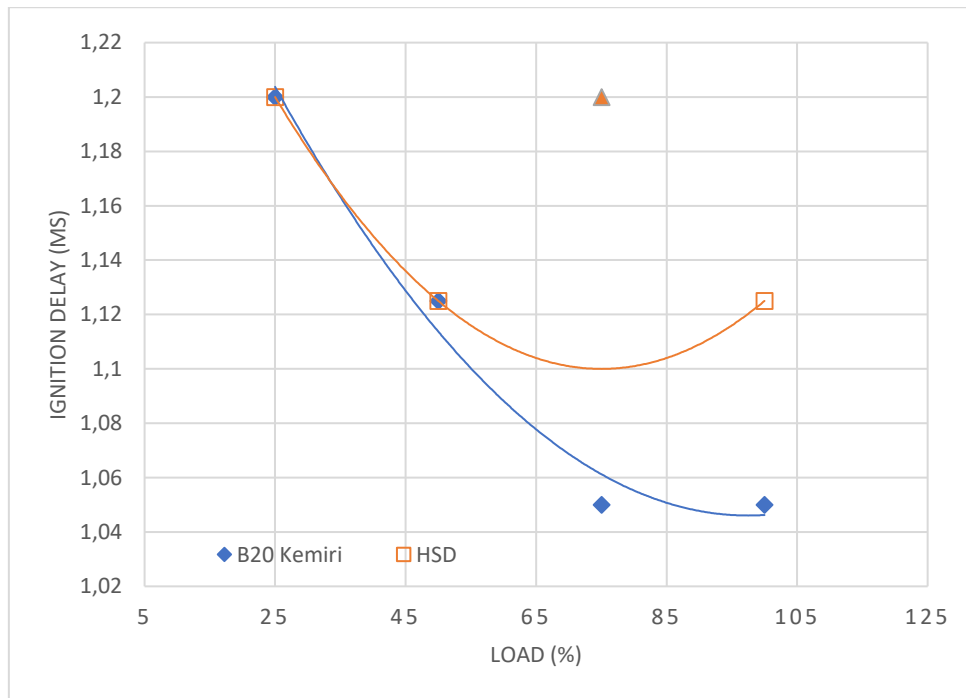
#### IV.2.13. Analisis Knock Detection



Gambar 4. 19. Grafik Knock Detection

Gambar 4.19. di atas menunjukkan nilai knock detection pada setiap setiap *load* yaitu *load* 25%, 50%, 75%, 100% terlihat di grafik bahwa nilai knocking dari bahan bakar HSD selalu ada di atas bahan bakar B20 kemiri dan tren yang ditunjukkan adalah semakin besar daya maka nilai knocking semakin kecil kecuali pada *load* 100% yang nilainya cenderung sama antara bahan bakar biodiesel B20 kemiri dan bahan bakar HSD.

#### IV. 2. 14. Analisis *Ignition Delay* pada RPM 2200



Gambar 4. 20. Grafik Ignition Delay

Gambar 4.20 menunjukkan grafik perbandingan nilai *ignition delay* antara biodiesel B20 minyak kemiri dan bahan bakar HSD. Analisis *ignition delay* bertujuan untuk mengetahui jeda waktu yang dimulai pada saat awal penginjeksian bahan bakar oleh *injector* sampai waktu bahan bakar terbakar di ruang bakar. Percobaan ini dilakukan dengan memvariasikan empat *load* dengan RPM maksimum. Mesin YANMAR TF 85-MH memiliki waktu penginjeksian pada saat  $-18^\circ$  sebelum titik mati atas. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa waktu *ignition delay* B20 minyak kemiri pada *load* 25% adalah 1,20 ms dan waktu *ignition delay* HSD adalah 1,20 ms juga, untuk waktu *ignition delay* B20 minyak kemiri pada *load* 50% adalah 1,125 ms dan waktu *ignition delay* untuk bahan bakar HSD pada *load* 50% juga bernilai 1,125 ms, untuk waktu *ignition delay* bahan bakar B20 minyak kemiri pada *load* 75% adalah 1,05 sedangkan waktu *ignition delay* bahan bakar HSD lebih lama yaitu 1,2 ms yang dianggap sebagai titik *outlayer*, dan untuk waktu *ignition delay* bahan bakar B20 Kemiri pada *load* 100% adalah 1,05 dan bahan bakar HSD memiliki waktu *ignition delay* yang lebih lama yaitu 1,125.

Waktu *ignition delay* dipengaruhi oleh angka *cetane* dari bahan bakar. Semakin tinggi *cetane number* yang dimiliki oleh suatu bahan bakar maka bahan bakar tersebut semakin cepat terbakar yang berarti waktu *ignition delay* nya semakin kecil. Maka dari itu, berdasarkan data grafik *ignition delay* pada gambar 4.20 maka dapat diasumsikan bahwa *cetane number* B20 minyak kemiri lebih tinggi jika dibandingkan dengan *cetane number* bahan bakar HSD.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil uji coba pada penelitian ini mengenai nilai kadar emisi dan pembakaran pada bahan bakar biodiesel kemiri dengan komposisi campuran B20 kemiri dan bahan bakar solar High Speed Diesel (HSD), dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut;

1. Untuk kadar emisi yang dihasilkan, bahan bakar biodiesel B20 memiliki kadar emisi NO<sub>x</sub> yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar HSD pada *load* 1.000 watt, 2.000 watt, dan 3000 watt, sedangkan pada *load* 4.000 watt bahan bakar biodiesel B20 kemiri memiliki nilai emisi yang lebih rendah.
2. Proses Pembakaran
  - a. Pada grafik ignition delay pada RPM konstan yaitu 2200 RPM dan *load* yang terus meningkat, *trendline* dari nilai ignition delay bahan bakar B20 kemiri lebih singkat jika dibandingkan dengan bahan bakar HSD. Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa cetane number B20 kemiri lebih besar jika dibandingkan dengan cetane number bahan bakar HSD.
  - b. Pada grafik maximum pressure pada RPM konstan yaitu 2200 RPM dan *load* yang terus meningkat, maka nilai *maximum pressure* akan terus meningkat kecuali pada *load* 3000 watt. Untuk posisi derajat maximum pressure, semakin tinggi *load* yang diberikan maka derajat akan semakin mendekati TMA.
  - c. Pada grafik rate of heat release pada RPM konstan yaitu RPM 2200 dan *load* yang terus meningkat, nilai dari peak of rate of heat release menurun seiring dengan meningkatnya *load* yang diberikan. Untuk nilai heat perbandingan nilai *rate of heat release* bahan bakar HSD dominan lebih tinggi apabila dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel B20 kemiri.
  - d. Pada grafik *knock detection* pada RPM konstan yaitu 2200 RPM dan *pemloadan* terus meningkat, nilai knocking dari bahan bakar kemiri selalu lebih kecil dibandingkan dengan bahan bakar HSD kecuali pada *load* 100% dimana nilai *knocking* nya cenderung sama.

#### **V.2. Saran**

- a) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan hasil uji emisi dan hasil pembakaran antara bahan bakar biodiesel kemiri dengan bahan biodiesel lainnya.
- b) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai proses pembuatan biodiesel minyak kemiri dengan metode yang lain.



“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## DAFTAR PUSTAKA

- Alhaq,S., 2016.,Analisa Emisi Berbasis Eksperimen dan Kelayakan Ekonomis Bahan Bakar Biodiesel Umbi Porang (*Amarphallus Onchopillus*) ., Departemen Teknik Sistem Perkapalan., Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya
- Ardi, R. 2008. Pengujian Emisi Gas Buang pada Mesin Diesel yang Menggunakan Bahan Bakar Biodiesel dan Bahan Bakar Solar.
- Budiyono, A. 2001. Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Terhadap Lingkungan
- Dennis Y. C. dan X. Wu, 2010. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification., Department of Mechanical Engineering., The University of Hong Kong., Pokfulam Road., Hong Kong, China.
- Gusma, H, 2016., Analisis Perbandingan Combustion Process Mesin Diesel dari Bahan Bakar Biodiesel Minyak Umbi Porang (*Amarphopallus Onchophillus*) dengan Minyak Kelapa Sawit (Crude Palm Oil) Berbasis Eksperimen., Departemen Teknik Sistem Perkapalan., Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.
- Kementrian Pertanian Direktorat Jenderal Hortikultura. 2015. Statistik Produksi Hortikultura 2014
- Pham, L. N, Dkk, 2018. Production of Biodiesel from Candlenut Oil Using a Two-step Co-solvent Method and Evaluation of Its Gaseous Emissions, Faculty of Chemistry, VNU University of Science, Hanoi, 19 Le Thanh Tong, Hoan Kiem District, Hanoi, Vietnam.
- Standar Nasional Indonesia, 2015, Regulasi Biodiesel, SNI 7182:2015, hal.1-3,
- Syahrani,A., 2006, Analisa Kinerja Mesin Bensin Berdasarkan Hasil Uji Emisi,SMARTek., Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.
- Xing L, Dkk, 2003. Effect of Cetane Number Improver on *Heat release Rate* and Emissions of High Speed Diesel Engine Fueled with Ethanol-Diesel Blend Fuel., Institut of Internal Combustion Engine., Shanghai Jiaotong University., Shanghai.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## LAMPIRAN

### LAMPIRAN 1

#### Pembuatan Biodiesel

Terdapat tiga tahap utama dalam pembuatan biodiesel berbahan baku biji buah kemiri, yaitu:

1. Tahap awal
2. Tahap reaksi utama
3. Tahap pemurnian

#### A. Esterifikasi

Esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kadar *Free fatty Acid* (FFA) pada minyak biji kemiri. Kandungan FFA pada minyak biji kemiri adalah (7 wt%). Esterifikasi dilakukan dengan mencampurkan methanol sebanyak 8% dan juga menggunakan  $H_2SO_4$  sebanyak 0,1% sebagai katalis. Berikut adalah tahapan yang dilakukan dalam proses esterifikasi minyak biji kemiri :

1. Minyak biji kemiri dipanaskan dan dijaga temperaturnya pada suhu 35°C
2. Masukkan methanol sebanyak 8% lalu aduk selama 5 menit
3. Masukkan 1 ml  $H_2SO_4$  pada setiap 1 liter minyak biji kemiri
4. Aduk selama 60 menit dengan suhu dijaga pada temperature 35°C
5. Biarkan minyak hasil esterifikasi selama 8 jam

Pada tahap ini tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap minyak biji kemiri hanya warna dari minyak biji kemiri yang berubah

#### B. Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah proses tahap kedua yang dilakukan untuk memisahkan kandungan gliserol yang ada pada minyak biji kemiri. Transesterifikasi dilakukan dengan mencampurkan methanol sebanyak 12% dan juga KOH sebanyak 1% dari berat minyak biji kemiri. Berikut adalah tahapan yang dilakukan pada saat melakukan proses transesterifikasi :

1. Campur methanol sebanyak 12% minyak biji kemiri dengan 1% KOH dari berat minyak biji kemiri lalu aduk hingga methanol dan KOH tercampur
2. Masukkan 50% campuran metoxide ke dalam minyak biji kemiri hasil esterifikasi dan aduk sampai suhu 57°C
3. Setelah minyak kemiri mencapai suhu 57°C masukkan 50% campuran metoxide dan aduk selama 60-90 menit pada suhu 57°C sampai terlihat gliserol yang mulai memisah dengan minyak biji kemiri

4. Tunggu selama 2-3 jam sampai gliserol mengendap di bawah dan benar-benar terpisah dari minyak biji kemiri



Gambar 1. Gliserin Biodiesel

Gambar di atas adalah hasil akhir dari proses transesterifikasi. Pada gambar di atas menunjukkan bahwa cairan FAME telah terpisah dari gliserol. Gliserol yang terpisah pada cairan FAME sebanyak 100 ml dari total FAME 500 ml yang berarti gliserol yang terpisah adalah 20%.

#### C. *Washing*

Proses washing adalah proses pemurnian FAME hasil dari transesterifikasi. Proses pemurnian atau washing ini menggunakan asam cuka sebanyak 7 ml setiap 1 liter minyak dan cairan aquadest dengan perbandingan 1 : 1 dengan FAME hasil transesterifikasi. Proses washing diulangi 2-3 kali sampai larutan gliserol benar-benar terpisah dari cairan FAME yang ditunjukkan dengan larutan aquadest yang semakin jernih dan pH menunjukkan angka 7.

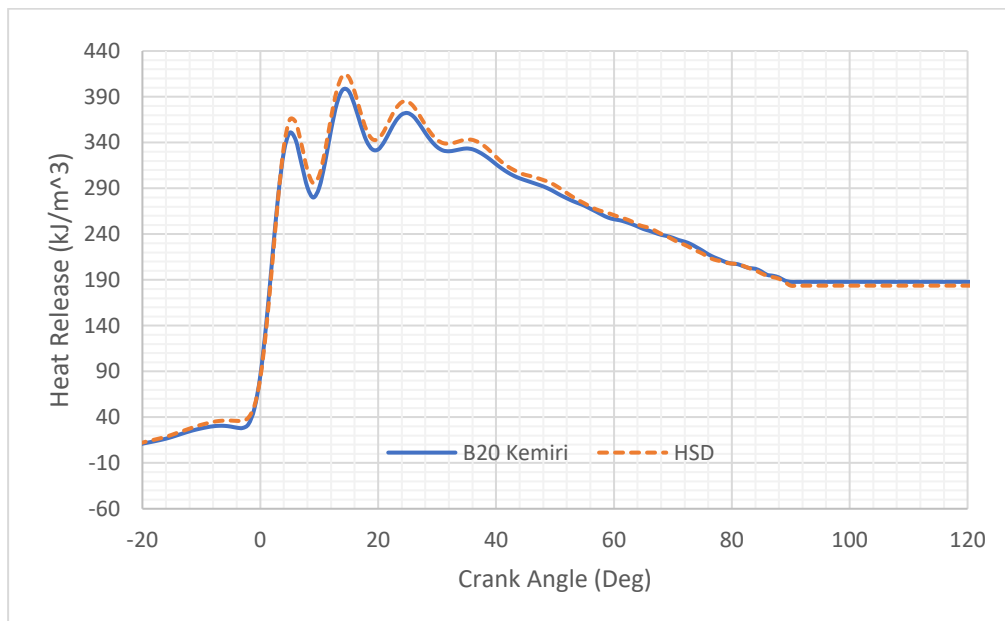
#### D. *Destilation*

Proses destilation adalah proses pengeringan sisa kandungan air atau aquadest yang ada pada FAME. Proses pengeringan dilakukan dengan cara memanaskan FAME sampai kandungan air atau aquadest menguap pada suhu 85°C selama kurang lebih 30-60 menit. Pada proses akhirnya biodiesel akan berubah warna menjadi kuning terang.

## LAMPIRAN 2

### Combustion Process

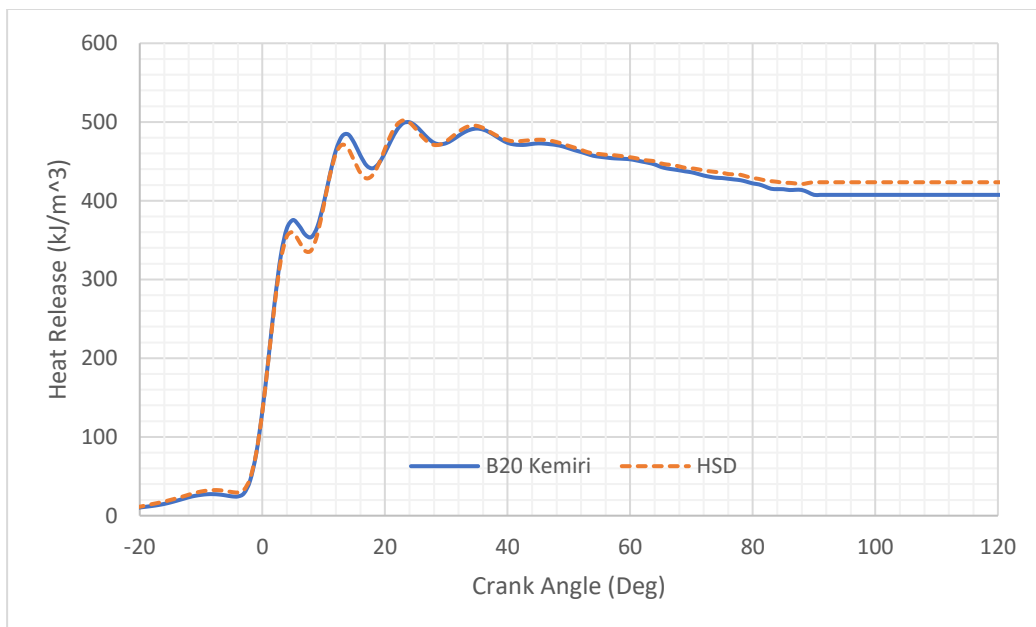
#### *Heat Release pada RPM 2200, Load 25%*



Gambar 2. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan *load* 25% adalah 411,64 kJ/m<sup>3</sup> pada titik 16 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 2200 dan *load* 25% adalah 396,173 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 16 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri cenderung sama yaitu di angkat 183 kJ/m<sup>3</sup> pada sudut 92 °CA

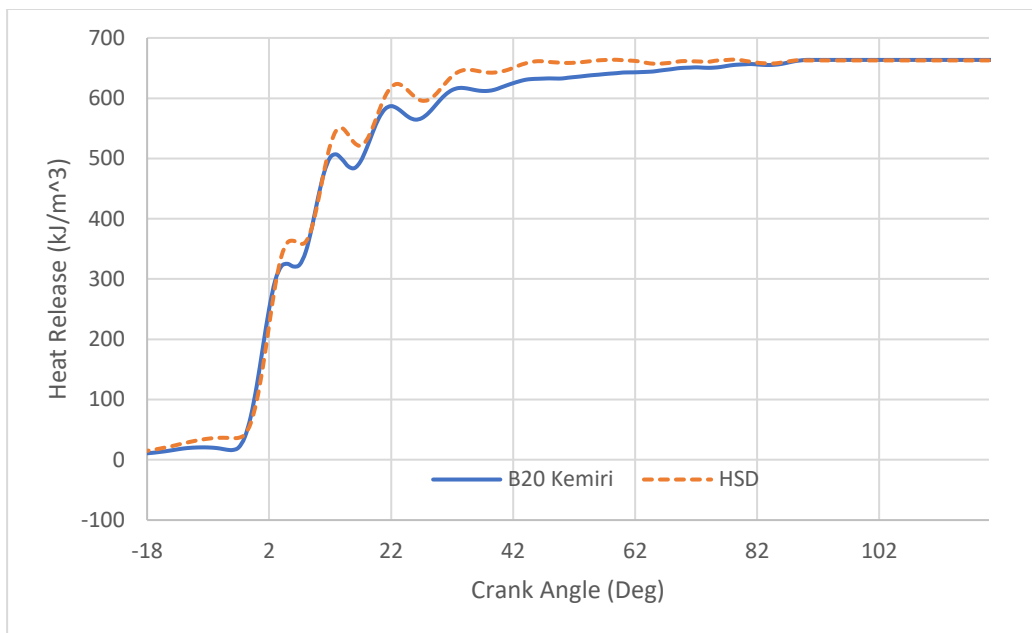
### **Heat Release pada RPM 2200, Load 50%**



Gambar 3. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan *load* 50% adalah 499,37 kJ/m<sup>3</sup> pada titik 24 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 2200 dan *load* 50% adalah 499,71 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 24 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri cenderung sama yaitu di angkat 424 kJ/m<sup>3</sup> pada sudut 89 °CA setelah TMA.

### **Heat Release pada RPM 2200, Load 75%**

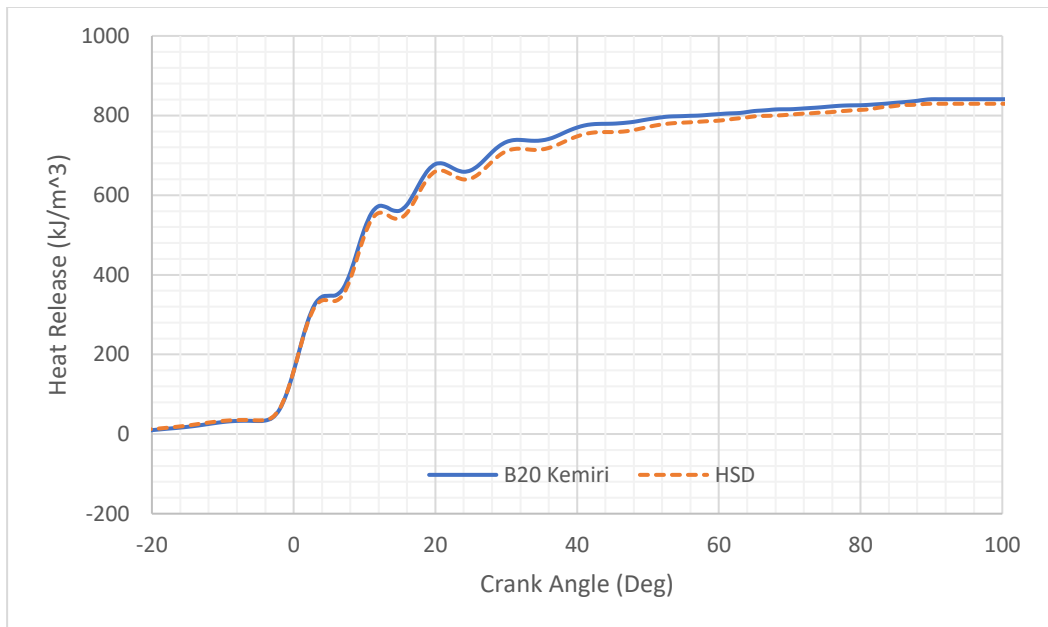


Gambar 4. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan *load* 75% adalah 499,37 kJ/m³ pada titik 24 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 2200 dan *load* 75% adalah 499,71 kJ/m³/deg pada titik 24 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri cenderung sama yaitu di angkat 424 kJ/m³ pada sudut 89°CA setelah TMA.



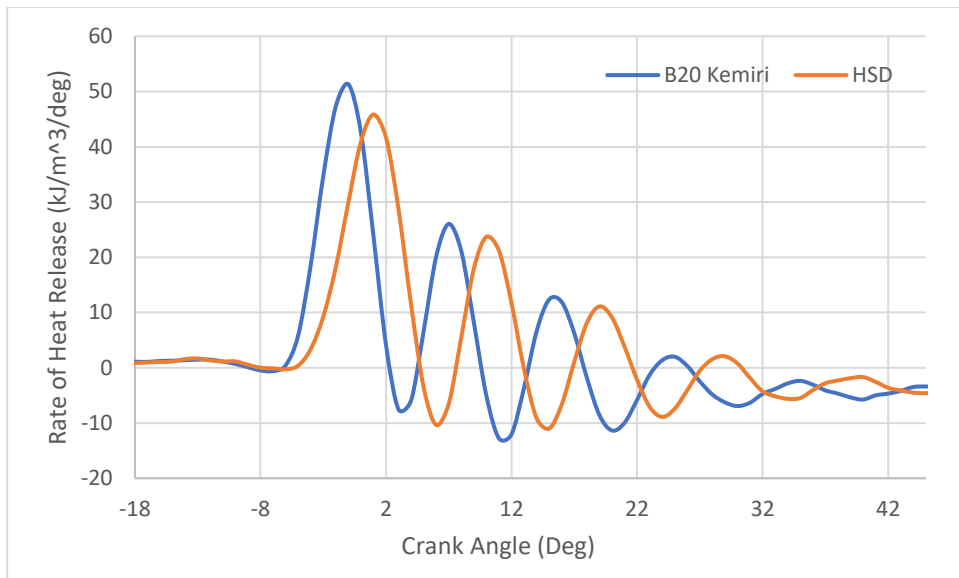
### ***Heat Release pada RPM 2200, Load 100%***



Gambar 5. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan *load* 100% adalah 499,37 kJ/m<sup>3</sup> pada titik 24 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 2200 dan *load* 100% adalah 499,71 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 24 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri cenderung sama yaitu di angkat 424 kJ/m<sup>3</sup> pada sudut 89 °CA setelah TMA.

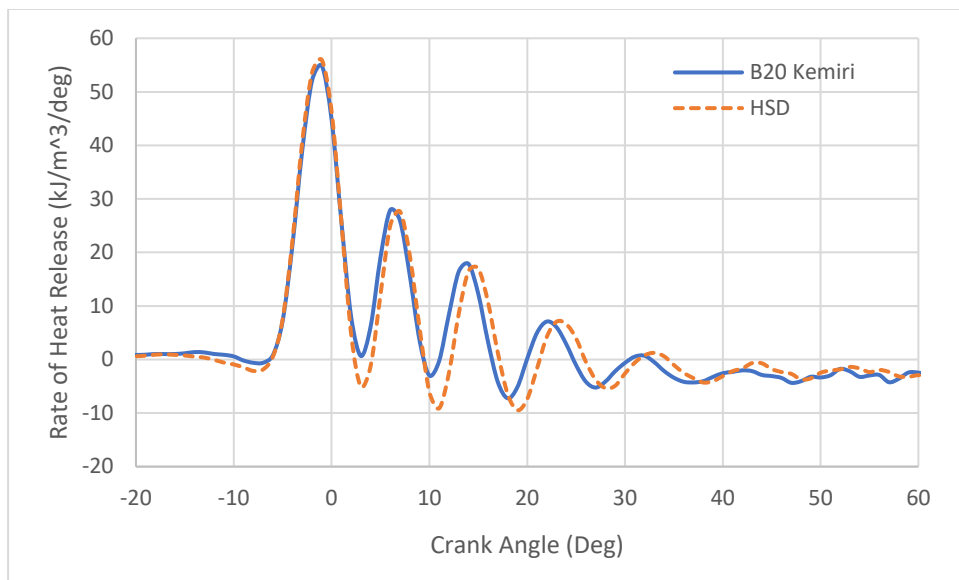
### Analisis *Rate of Heat release* pada RPM 1800, Load 25%



Gambar 6. Grafik Rate of Heat Release

Analisis *rate of heat release* dilakukan dengan membandingkan awal terjadinya *rate of heat release* atau pelepasan energi panas dan membandingkan *peak of rate of heat release* masing-masing bahan bakar. Pada gambar 6 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *rate of heat release* antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa dimulainya proses pelepasan energi B20 kemiri yaitu pada 2° setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya adalah 3,623 kJ/m³/deg. Pada grafik 6 juga dapat dilihat bahwa proses dimulainya pelepasan energi pada bahan bakar HSD juga dimulai pada 2° setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya juga 3,623 kJ/m³/deg, sedangkan untuk nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar B20 kemiri adalah 68,561 kJ/m³/deg pada 3° setelah TMA dan nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar HSD adalah 72,268 kJ/m³/deg pada 3° setelah TMA.

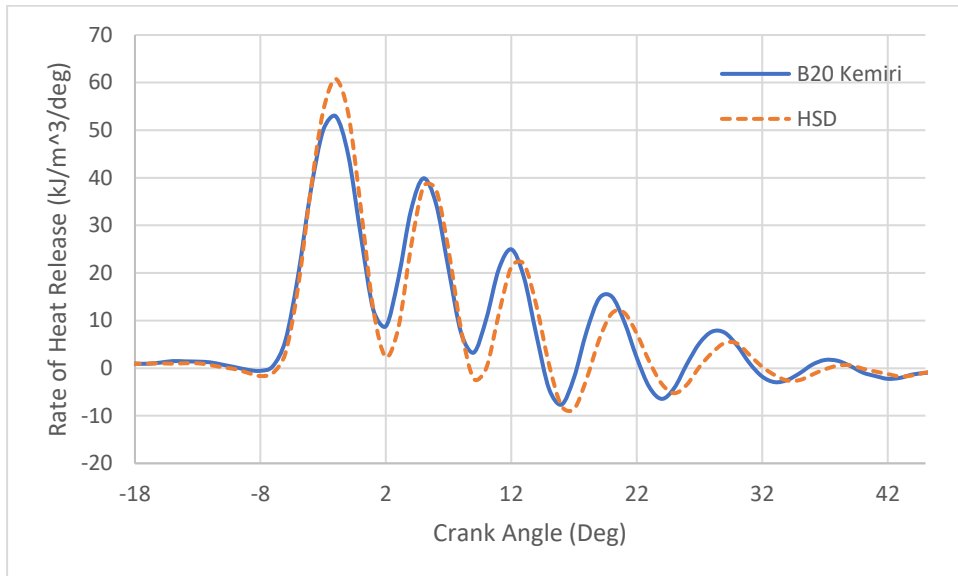
### Analisis *Rate of Heat release* pada RPM 1800, Load 50%



Gambar 7. Grafik Rate of Heat Release

Analisis *rate of heat release* dilakukan dengan membandingkan awal terjadinya *rate of heat release* atau pelepasan energi panas dan membandingkan *peak of rate of heat release* masing-masing bahan bakar. Pada RPM 1800 dan *load* 25% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 1,181 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 1,107. Pada gambar 7 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *rate of heat release* antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa dimulainya proses pelepasan energi B20 kemiri yaitu pada 2 °CA setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya adalah 3,623 kJ/m³/deg. Pada grafik 7 juga dapat dilihat bahwa proses dimulainya pelepasan energi pada bahan bakar HSD juga dimulai pada 2 °CA setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya juga 3,623 kJ/m³/deg, sedangkan untuk nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar B20 kemiri adalah 68,561 kJ/m³/deg pada 3 °CA setelah TMA dan nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar HSD adalah 72,268 kJ/m³/deg pada 3° setelah TMA.

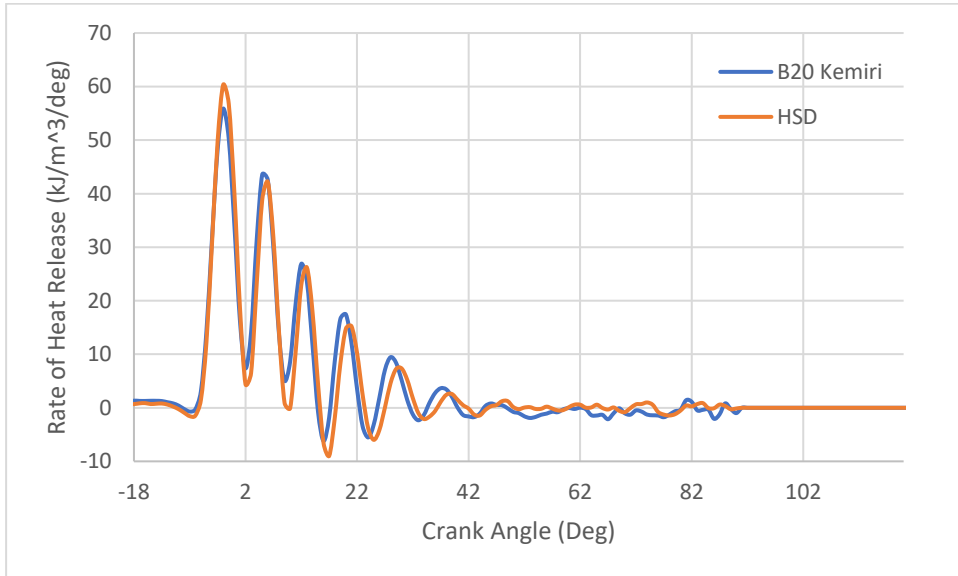
### Analisis *Rate of Heat release* pada RPM 1800, Load 75%



Gambar 8. Grafik Rate of Heat Release

Analisis *rate of heat release* dilakukan dengan membandingkan awal terjadinya *rate of heat release* atau pelepasan energi panas dan membandingkan *peak of rate of heat release* masing-masing bahan bakar.. Pada gambar 8 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *rate of heat release* antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa dimulainya proses pelepasan energi B20 kemiri yaitu pada 2°CA setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya adalah 3,623 kJ/m³/deg. Pada grafik 4.8 juga dapat dilihat bahwa proses dimulainya pelepasan energi pada bahan bakar HSD juga dimulai pada 2°CA setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya juga 3,623 kJ/m³/deg, sedangkan untuk nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar B20 kemiri adalah 68,561 kJ/m³/deg pada 3° setelah TMA dan nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar HSD adalah 72,268 kJ/m³/deg pada 3° setelah TMA.

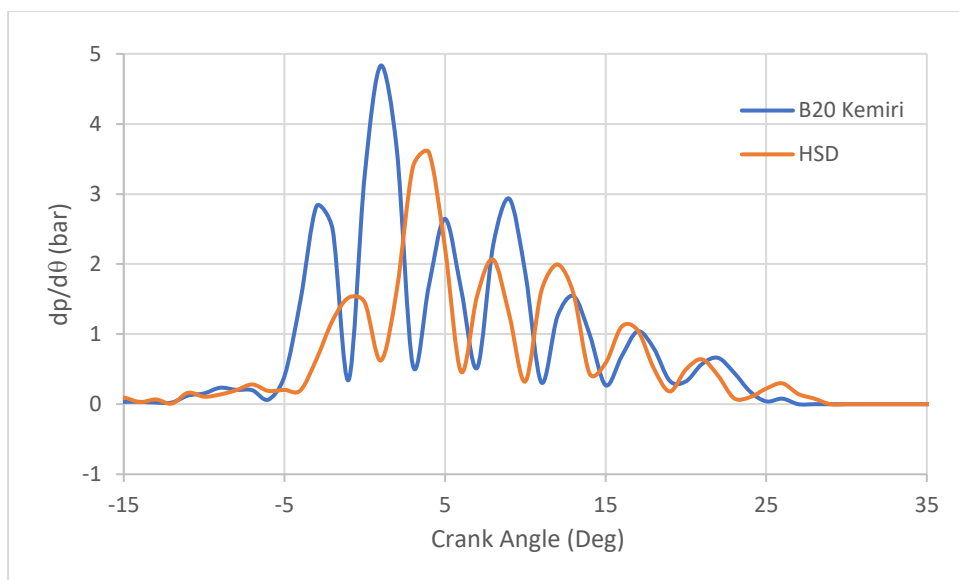
### Analisis *Rate of Heat release* pada RPM 1800, Load 100%



Gambar 9. Grafik Rate of Heat Release

Analisis *rate of heat release* dilakukan dengan membandingkan awal terjadinya *rate of heat release* atau pelepasan energi panas dan membandingkan *peak of rate of heat release* masing-masing bahan bakar. Pada gambar 9 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan *rate of heat release* antara bahan bakar B20 kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa dimulainya proses pelepasan energi B20 kemiri yaitu pada 2°CA setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya adalah 3,623 kJ/m³/deg. Pada grafik 9 juga dapat dilihat bahwa proses dimulainya pelepasan energi pada bahan bakar HSD juga dimulai pada 2°CA setelah TMA dan nilai *rate of heat release* nya juga 3,623 kJ/m³/deg, sedangkan untuk nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar B20 kemiri adalah 68,561 kJ/m³/deg pada 3° setelah TMA dan nilai *peak of rate of heat release* dari bahan bakar HSD adalah 72,268 kJ/m³/deg pada 3° setelah TMA.

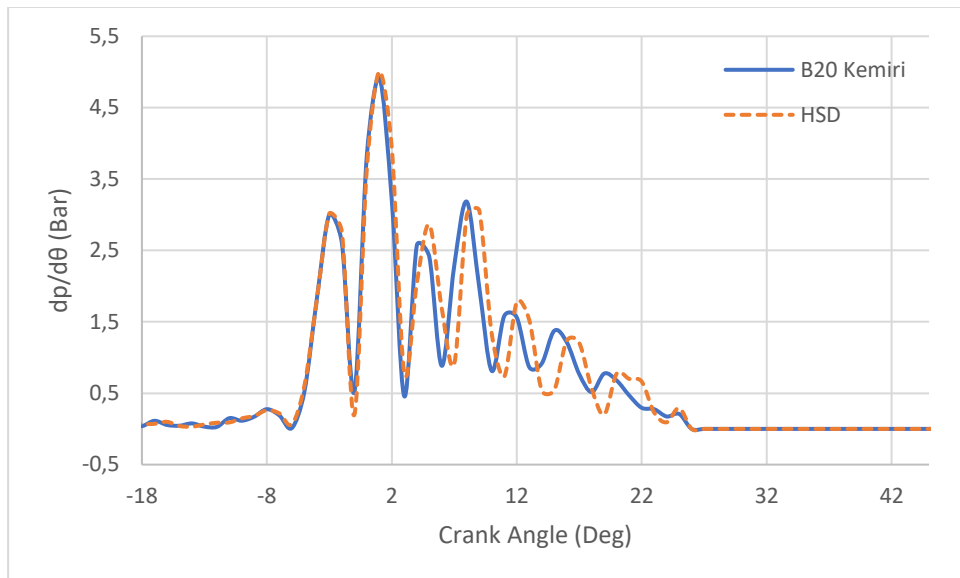
### Analisis *Knock Detection* pada RPM 1800, Load 25%



Gambar 10. Grafik Knock Detection

Analisis *knock detection* dilakukan dengan membaca tekanan puncak yang dihasilkan oleh tiap bahan bakar. *Knock detection* disebabkan oleh terjadinya ledakan yang tidak tepat waktu, bisa jadi setelah proses injeksi atau sebelum proses injeksi. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan data *knock detection* dari bahan bakar HSD dan juga B20 kemiri. Pada gambar dapat dilihat bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD pada RPM 1800 dan load 25% adalah 3,59 bar pada posisi sudut 4 °CA setelah TMA, sedangkan pada bahan bakar biodiesel kemiri nilai dari *knock detection* pada RPM 1800 dan load 25% adalah 4,8 bar pada sudut 1 °CA setelah TMA. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai *knock detection* bahan bakar B20 kemiri lebih besar dibandingkan dengan *knock detection* bahan bakar HSD pada RPM 1800 dan load 25%.

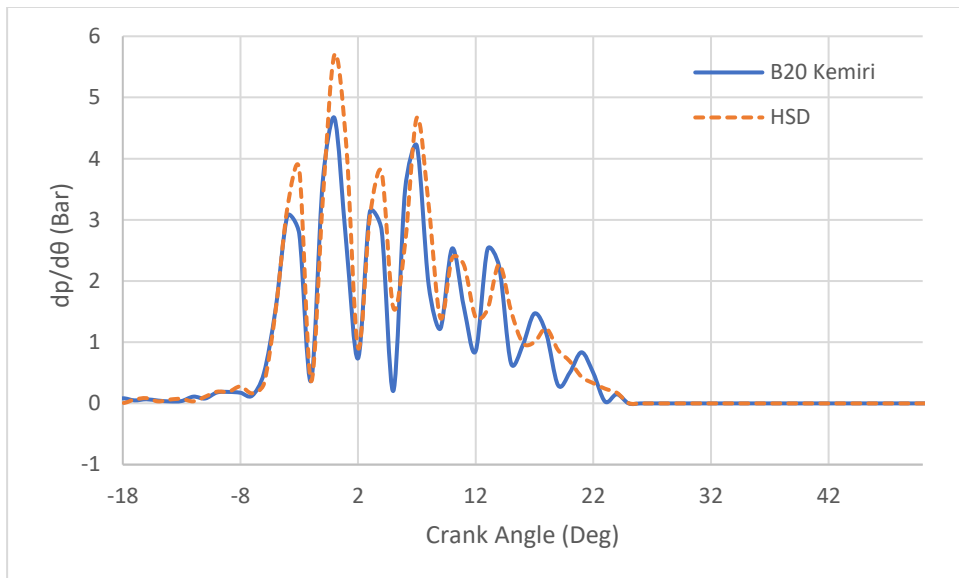
### Analisis *Knock Detection* pada RPM 1800, Load 50%



Gambar 11. Grafik Knock Detection

Analisis *knock detection* dilakukan dengan membaca tekanan puncak yang dihasilkan oleh tiap bahan bakar. *Knock detection* disebabkan oleh terjadinya ledakan yang tidak tepat waktu, bisa jadi setelah proses injeksi atau sebelum proses injeksi. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan data *knock detection* dari bahan bakar HSD dan juga B20 kemiri. Pada gambar dapat dilihat bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD pada RPM 1800 dan load 50% adalah 5,00 bar pada posisi sudut 1 °CA setelah TMA, sdan juga pada bahan bakar biodiesel kemiri nilai dari *knock detection* pada RPM 1800 dan load 50% adalah 5,00 bar pada sudut 1° setelah TMA. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD dan B20 kemiri sama.

### Analisis *Knock Detection* pada RPM 1800, Load 75%

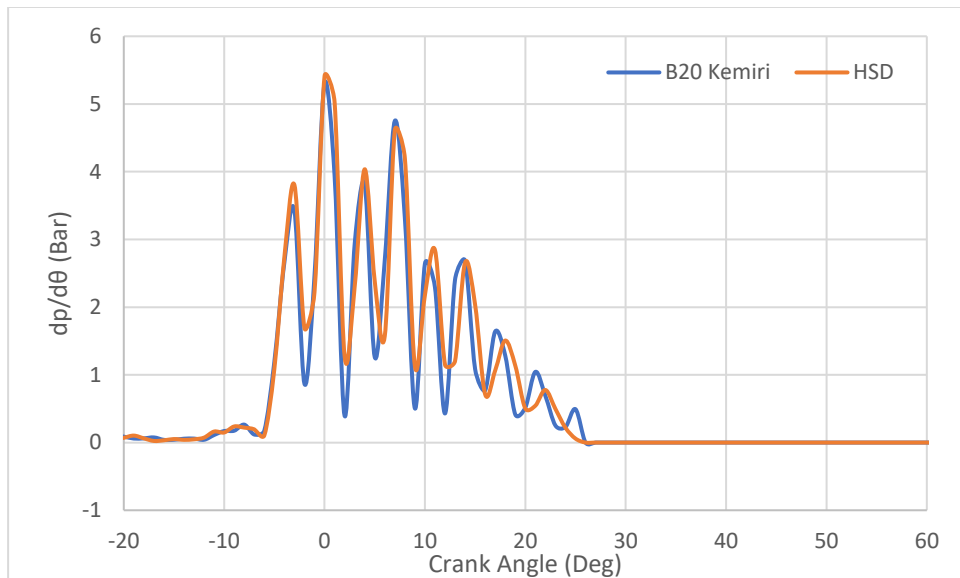


Gambar 12. Grafik Knock Detection

Analisis *knock detection* dilakukan dengan membaca tekanan puncak yang dihasilkan oleh tiap bahan bakar. *Knock detection* disebabkan oleh terjadinya ledakan yang tidak tepat waktu, bisa jadi setelah proses injeksi atau sebelum proses injeksi. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan data *knock detection* dari bahan bakar HSD dan juga B20 kemiri. Pada gambar dapat dilihat bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD pada RPM 1800 dan load 75% adalah 5,70 bar pada posisi sudut 0 °CA TMA, sedangkan pada bahan bakar biodiesel kemiri nilai dari *knock detection* pada RPM 1800 dan load 75% adalah 4,211 bar pada sudut 1 °CA setelah TMA. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan dengan *knock detection* bahan bakar B20 kemiri pada RPM 1800 dan load 75%.



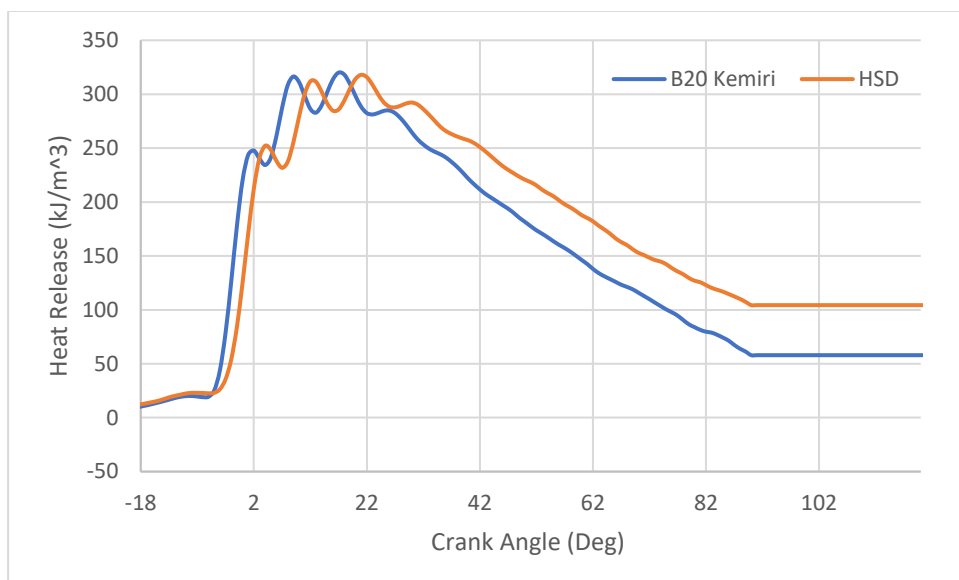
### Analisis *Knock Detection* pada RPM 1800, Load 100%



Gambar 13. Grafik Knock Detection

Analisis *knock detection* dilakukan dengan membaca tekanan puncak yang dihasilkan oleh tiap bahan bakar. *Knock detection* disebabkan oleh terjadinya ledakan yang tidak tepat waktu, bisa jadi setelah proses injeksi atau sebelum proses injeksi. Pada gambar dapat dilihat grafik yang menunjukkan data *knock detection* dari bahan bakar HSD dan juga B20 kemiri. Pada gambar dapat dilihat bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD pada RPM 1800 dan load 100% adalah 5,40 bar pada posisi sudut 0 °CA TMA, sedangkan pada bahan bakar biodiesel kemiri nilai dari *knock detection* pada RPM 2200 dan load 100% adalah 5,30 bar pada sudut 0 °CA TMA. Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai *knock detection* bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan dengan *knock detection* bahan bakar B20 kemiri pada RPM 1800 dan load 100%.

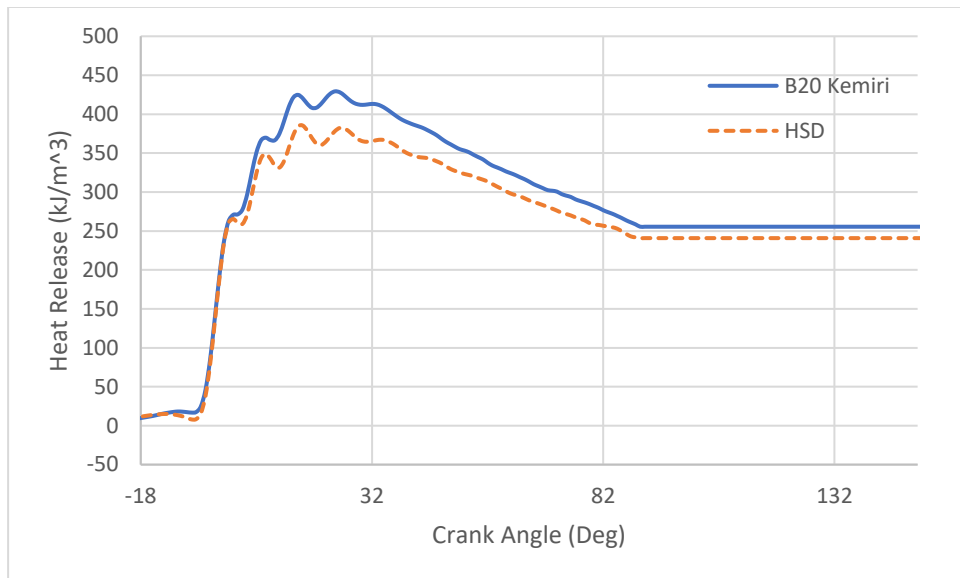
### Analisis *Heat Release* Pada RPM 1800, *Load* 25%



Gambar 14. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar 14 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 1800 dan *load* 25% adalah 311,62 kJ/m<sup>3</sup> pada titik 13 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 1800 dan *load* 25% adalah 313,79 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 16 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih besar jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD 104,361 kJ/m<sup>3</sup> pada 92 °CA B20 kemiri adalah 57,96kJ/m<sup>3</sup> pada 91 °CA.

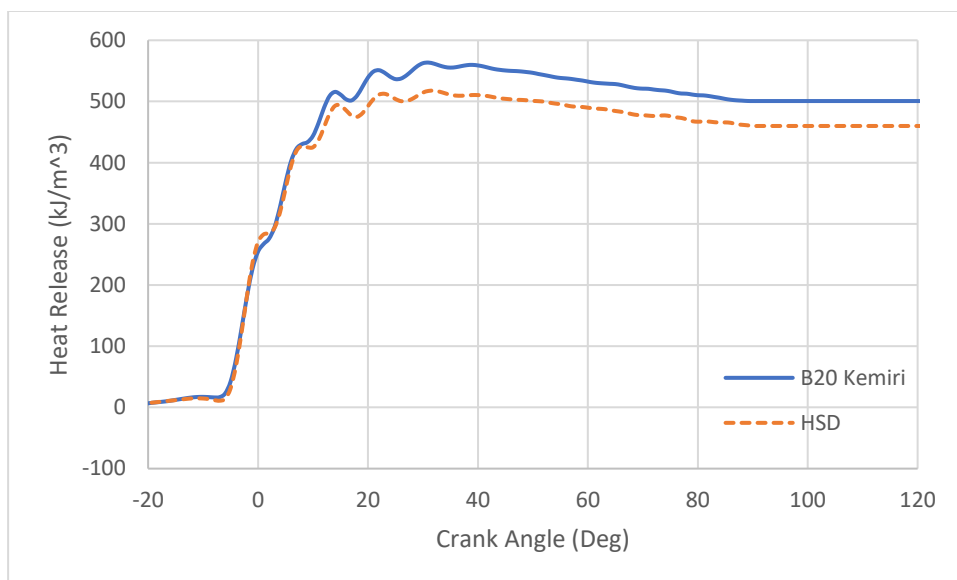
### Analisis *Heat Release* Pada RPM 1800, *Load* 50%



Gambar 15. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada gambar 15 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 1800 dan *load* 50% adalah 756,62 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 42 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 1800 dan *load* 50% adalah 777,81 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 42 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih besar jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri hampir sama yaitu konstan pada nilai 822,23 dimulai pada sudut 82 °CA.

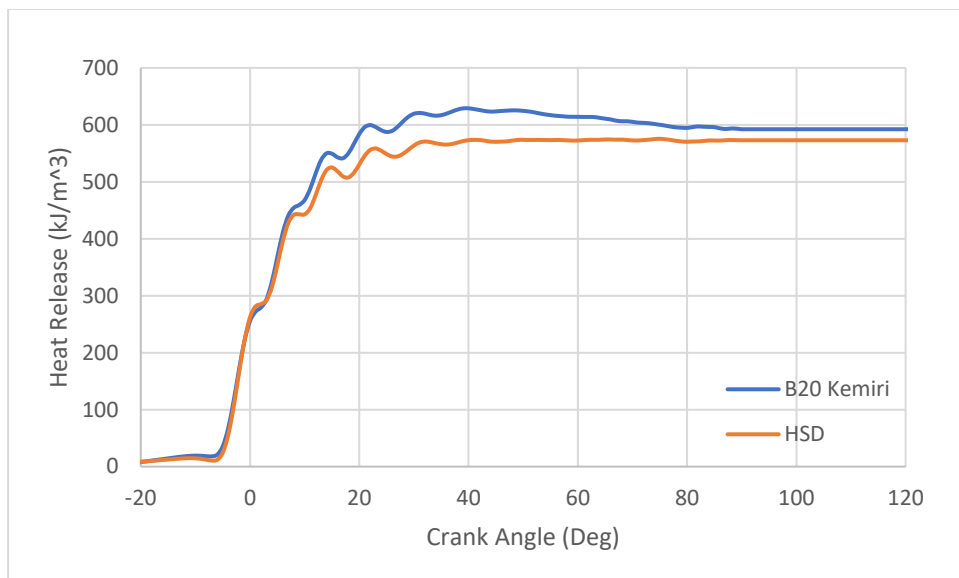
### Analisis *Heat Release* Pada RPM 1800, *Load* 75%



Gambar 16. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada RPM 1800 dan *load* 75% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 4,256 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 4,276. Pada gambar 16 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 1800 dan *load* 75% adalah 756,62 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 42 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 1800 dan *load* 75% adalah 777,81 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 42 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih besar jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri hampir sama yaitu konstan pada nilai 822,23 dimulai pada sudut 82 °CA.

### Analisis *Heat Release* Pada RPM 1800, *Load* 100%



Gambar 17. Grafik Heat Release

Analisis heat release dilakukan dengan membandingkan titik puncak tertinggi energi panas yang dicapai oleh tiap bahan bakar beserta penurunan jumlah energi panas nya. Pada RPM 1800 dan *load* 100% daya yang dihasilkan oleh bahan bakar B20 kemiri adalah 4,256 dan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar HSD pada RPM dan *load* yang sama adalah 4,276. Pada gambar 17 dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan heat release antara biodiesel biji kemiri dan bahan bakar HSD. Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai heat release untuk bahan bakar HSD pada RPM 2200 dan *load* 100% adalah 756,62 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 42 °CA setelah TMA, sedangkan untuk B20 kemiri nilai dari heat release pada RPM 1800 dan *load* 100% adalah 777,81 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada titik 42 °CA setelah TMA. Hal itu menunjukkan bahwa nilai energi tertinggi dari B20 kemiri lebih besar jika dibandingkan dengan nilai energi tertinggi dari bahan bakar HSD sedangkan untuk nilai pada saat penurunan energi bahan bakar HSD dan B20 kemiri hampir sama yaitu konstan pada nilai 822,23 dimulai pada sudut 82 °CA.

## LAMPIRAN 3

## Uji Karakteristik Biodiesel

## LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Muhammad Dolimora  
 Alamat Pemilik : Teknik Sistem Perkapalan ITS  
 Nama Contoh : **Sampel A B100, Sampel B B100 dan Minyak Kemiri B20** Tanggal Terima : 28 Juni 2018  
 Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 29 Juni 2018  
 Contoh Volume : - Tanggal Selesai :  
 Kemasan : Botol Pengujian : 05 Juli 2018  
 Kode Contoh : EN-029 Jumlah Contoh : 03

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Sampel A B 100	<i>Kinematic Viscosity at 40°C</i>	4,12	cSt	ASTM D 445-97
2	Sampel B B100		6		
3	Minyak Kemiri B 20		4,26		
	Minyak Kemiri B 20	<i>Cetane Number</i>	69,7	-	Cetane Meter

Suhu : 20,4°C  
 Humidity : 43%  
 Analis : NRS, MBB, EVY, WNN

## Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Kepala Laboratorium  
 Energi dan Lingkungan

Koordinator Teknis

Dr. Ir. Susianto, DEA  
 NIP. 19620820 198903 1 004

Vita Yuliana, S.Si  
 NIP. 1990201822404

“Halaman sengaja dikosongkan”

## LAMPIRAN 4

## Uji Emisi



**PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR  
DINAS TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI  
UNIT PELAKSANA TEKNIS KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA  
( UPT K3 )**

Jl. Dukuh Menanggal 122 Telepon 8280440, 8294490, Fax. 8294277 Surabaya 60234  
Email : [uptk3sby@gmail.com](mailto:uptk3sby@gmail.com); [admin@k3.disnakertrans.jatimprov.go.id](mailto:admin@k3.disnakertrans.jatimprov.go.id)  
Website : [www.k3.disnakertrans.jatimprov.go.id](http://www.k3.disnakertrans.jatimprov.go.id)



*LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran*  
**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**  
**No. PT. 47 / VI / 2018**

- |     |                     |  |
|-----|---------------------|--|
| I   | Nama Pengguna Jasa  | : Vianto Ilham<br>(Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan – ITS) |
| II  | Alamat              | : Sukolilo – Surabaya  |
| III | Jenis Pengukuran    | : Emisi Gas Buang Genset                                     |
| IV  | Tanggal Pengukuran  | : 26 Juni 2018   |
| V   | Alat yang Digunakan | : Gas Analyzer Merk E-COM                                    |
| VI  | Hasil Pengukuran    | :  |

Bahan Bakar	RPM	Beban	Jam (WIB)	Kadar NO <sub>x</sub> (ppm)
Biodiesel Kemiri	2200	1000	09.48	116
		2000	09.54	208
		3000	09.57	244
		4000	10.00	216

Mengetahui,  
KEPALA UPT K3 SURABAYA  
*[Signature]*  
DISNAKERTRANS  
WIDHIAH WINARNI, MM.  
NIP. 19611110 198603 2 017

Surabaya, 02 Juli 2018  
MANAJER TEKNIK  
*[Signature]*  
SLAMET, SKM.  
NIP. 19630111 198803 1 012



“Halaman sengaja dikosongkan”

## BIODATA PENULIS



Penulis, Vianto Ilham Pujinaufal lahir di Jakarta pada 25 Mei 1996. Anak ke-dua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Tedi Pujiantoro dan Ibu Yulianti ini bertempat tinggal di Kota Bogor Jawa Barat. Setelah lulus dari SMAN 5 Bogor pada tahun 2014, penulis melanjutkan studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan konsentrasi Teknik Sistem Perkapalan.

Di tahun keempat, penulis mengambil salah satu bidang studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan yaitu Marine Power Plant (MPP). Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti serangkaian studi dan juga aktif dalam berorganisasi. Penulis sempat mengikuti beberapa kepanitiaan dalam beberapa *Event* yang diadakan oleh departemen serta menjadi Kepala Divisi Kaderisasi dalam HIMAKSISKAL FTK-ITS dan menjadi anggota Steering Committee Character Building dalam HIMASISKAL FTK-ITS. Selain aktif dalam organisasi di lingkup ITS, penulis juga aktif dalam organisasi diluar kampus seperti organisasi serta forum daerah SAFARY (Surabaya Family of Rain City).

Selama penulisan Tugas Akhir ini, penulis tak luput dari kekurangan. Untuk kritik, saran dan pertanyaan mengenai Tugas Akhir ini dapat dikirimkan melalui *e-mail* [viantoilham@gmail.com](mailto:viantoilham@gmail.com).